



Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

MARCIO SERGIO AUDI  
Eng. Químico

**GESTÃO DE ESTOQUES E NÍVEL DE SERVIÇO NA CA-  
DEIA DE SUPRIMENTO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO**

Florianópolis  
2010



**MARCIO SERGIO AUDI**

**GESTÃO DE ESTOQUES E NÍVEL DE SERVIÇO NA CA-  
DEIA DE SUPRIMENTO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO**

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Santa Catarina, como re-  
quisito parcial para a obtenção do tí-  
tulo de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Fernando Mayerle

Florianópolis  
2010

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da  
Universidade Federal de Santa Catarina

A911g Audi, Marcio Sergio

Gestão de estoques e nível de serviço na cadeia de  
suprimento de derivados de petróleo [dissertação] /  
Marcio Sergio Audi ; orientador, Sergio Fernando  
Mayerle. - Florianópolis, SC : 2010.

93 p.: il., grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Estoques de segurança. 3. Nível  
de serviço. 4. Petróleo - Derivados. I. Mayerle, Sergio  
Fernando. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

MARCIO SERGIO AUDI

## **TÍTULO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Mestre Profissional em Engenharia Civil** na área de Infra-estrutura e Gerência Viária com ênfase em Transportes e Logística, no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof<sup>a</sup>. Janaíde Cavalcante Rocha, Dra.  
Coordenadora do Programa de Pós Graduação em Eng. Civil

### **Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup>. Eunice Passaglia, Dra.  
Orientadora/UFSC

---

Prof. Jucilei Cordini, Dr.  
ECV / UFSC

---

Prof. Sidnei Vieira Marinho, Dr.  
UNIVALI

---

Prof. Sérgio Fernando Mayerle, Dr.  
EPS / UFSC

Florianópolis  
2010



## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa Marise, pelo apoio e compreensão.  
Às minhas filhas Patrícia, Fernanda e Lorena pela motivação.





## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina pelos conhecimentos adquiridos.

A Giselle Guedes Coelho, minha gerente à época do início do curso, pela oportunidade concedida.

Aos meus colegas Emília de Vasconcelos Barbetta e Fernando José de Moura Marcellino pelas sugestões e incentivo.

A todos que direta e indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.



## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO .....	21
1.1. <b>CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	21
1.2.    JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	22
1.3.    OBJETIVOS .....	22
1.4.    PROPOSTA METODOLÓGICA .....	22
1.5.    RESULTADOS OBTIDOS.....	22
1.6.    LIMITAÇÕES.....	23
CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 <b>PRODUÇÃO DE DERIVADOS</b> .....	25
2.2    A CADEIA DE SUPRIMENTO.....	27
2.3    ESTRATÉGIA ATUAL DE CONTROLE DE ESTOQUES .....	30
2.4    RAZÃO DA EXISTÊNCIA DOS ESTOQUES .....	31
2.5    NÍVEL DE SERVIÇO .....	33
2.5.1  ADMINISTRANDO O NÍVEL DE SERVIÇO .....	35
2.6    ESTOQUES DE SEGURANÇA .....	37
2.7    PONTO DE RESSUPRIMENTO E TEMPO DE RESSUPRIMENTO .....	39
2.8    CUSTOS RELATIVOS AOS ESTOQUES .....	42
2.9    POLÍTICAS DE ESTOQUES.....	43
2.10   CONSIDERAÇÕES.....	45
CAPÍTULO 3 – BASES METODOLÓGICAS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	47
3.1 <b>MODELOS MATEMÁTICOS</b> .....	47
3.2    MÉTODOS ANALÍTICOS .....	48
3.3    MÉTODO DE SIMULAÇÃO .....	49
3.4    RESOLUÇÃO DO PROBLEMA .....	50
3.4.1  DETERMINAÇÃO DOS ESTOQUES DE SEGURANÇA .....	51
3.4.2  DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO DO CICLO DADA UMA POLÍTICA DE RESSUPRIMENTO .....	53
3.4.3  DETERMINAÇÃO DO ATENDIMENTO DA DEMANDA DADA UMA POLÍTICA DE RESSUPRIMENTO .....	53
3.4.4  AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE SEGURANÇA REQUERIDO DADO UM (PAD) DESEJADO .....	54
3.4.5  IMPACTO DO NÍVEL DE SERVIÇO E DAS INCERTEZAS NOS ESTOQUES DE SEGURANÇA .....	54
3.4.6  IMPACTO DAS INCERTEZAS DO TEMPO DE RESSUPRIMENTO NOS ESTOQUES DE SEGURANÇA .....	55

3.4.7	DETERMINAÇÃO DO LOTE ECONÔMICO E NÍVEL ÓTIMO DE DISPONIBILIDADE DE PRODUTO.....	56
<b>CAPÍTULO 4 – MODELO PROPOSTO.....</b>		<b>59</b>
4.1	<b>APRESENTAÇÃO GERAL DO MODELO .....</b>	<b>59</b>
4.2	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DO MODELO .....	62
4.2.1	ESTABELECE O NÍVEL DE SERVIÇO .....	62
4.2.2	CALCULAR OS ESTOQUES DE SEGURANÇA .....	64
4.2.3	CALCULAR OS LOTES DE RESSUPRIMENTO .....	64
4.2.4	ESTABELECE AS FAIXAS DE CONTROLE DE ESTOQUES .....	65
4.2.5	MONITORAR OS RESULTADOS .....	65
4.3	CONSIDERAÇÕES.....	65
<b>CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO – ESTUDO DE CASO 67</b>		
5.1	<b>APRESENTAÇÃO DO SETOR DE APLICAÇÃO DO MODELO.....</b>	<b>67</b>
5.2	DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO .....	67
5.3	AValiação DO MODELO .....	76
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>		<b>77</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	77
6.2	RECOMENDAÇÕES .....	79
6.3	SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS .....	79
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>81</b>
<b>APENDICE A – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EM RIBEIRÃO PRETO.....</b>		<b>83</b>
<b>APENDICE B – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EM UBERABA ..</b>		<b>85</b>
<b>APENDICE C – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EM UBERLÂNDIA.....</b>		<b>87</b>
<b>APENDICE D – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EM GOIÂNIA ..</b>		<b>89</b>
<b>APENDICE E – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EM BRASÍLIA ..</b>		<b>91</b>
<b>APENDICE F – CÁLCULOS ECONÔMICOS.....</b>		<b>93</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema básico de refino. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)	26
Figura 2 – Fluxo esquemático da cadeia de suprimento de derivados de petróleo. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)	28
Figura 3 – Distribuição de derivados. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)	30
Figura 4 - Variabilidades cobertas pelos estoques de segurança. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)	38
Figura 5 - Definição de Ponto de Ressuprimento e Tempo de Ressuprimento. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)	40
Figura 6 - Modelo do ponto de reposição. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)	41
Figura 7 - Relações de dependência entre demanda e tempo de ressuprimento. (Fonte: Petrobras - AB-LO/OL/OSP)	47
Figura 8 – Perfil da variação dos estoques com lote de ressuprimento. (Fonte: Petrobras- AB-LO/OL/OSP)	51
Figura 9: Esquema de movimentação de produtos. (Fonte: Petrobras – Transpetro)	60
Figura 10: Fluxograma do modelo proposto para gerenciamento de estoques. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)	61
Figura 11: Probabilidade de ocorrência em uma distribuição Normal. ..	63
Figura 12 – Estoque de segurança de gasolina em Ribeirão Preto. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	69
Figura 13 – Estoque máximo teórico em função do tamanho do lote de Diesel em Ribeirão Preto. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	70
Figura 14 – Estoque de segurança de gasolina em Uberaba. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	71
Figura 15 – Estoque máximo teórico em função do tamanho do lote de Diesel em Uberaba. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	71
Figura 16 – Estoque de segurança de Diesel em Uberaba. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	72
Figura 17 – Estoque de segurança de gasolina em Uberlândia. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	73
Figura 18 – Estoque máximo teórico em função do tamanho do lote de gasolina em Uberlândia. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	73
Figura 19 – Estoque de segurança de Diesel em Uberlândia. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	74
Figura 20 – Estoque máximo teórico em função do tamanho do lote de Diesel em Uberlândia. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	74
Figura 21 – Estoque de segurança de Diesel em Brasília. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)	75



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Métodos para a solução de modelos de gerenciamento de estoques.....	49
Tabela 2: Principais dados obtidos do modelo de gerenciamento de estoques. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP) .....	68





## RESUMO

**AUDI, Márcio Sérgio. GESTÃO DE ESTOQUES E NÍVEL DE SERVIÇO NA CADEIA DE SUPRIMENTO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO.** 2010. 82. Dissertação (Curso de Mestrado em Engenharia Civil). Florianópolis.

O consumo de derivados de petróleo no Brasil, especificamente no Centro-Oeste, é feito através do envio de produtos da refinaria do planalto, por meio de um poliduto, que movimenta gasolina A e óleo Diesel para os terminais de distribuição de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília. Os estoques são controlados por critérios práticos cujo objetivo é atender plenamente o mercado, sem uma análise econômica. Empregando o modelo proposto por CHOPPRA e MEINDL para um conjunto de dados de demanda, tempo de ciclo de ressuprimento e custos de armazenamento, foi possível determinar os estoques de segurança para um nível de serviço de 96% no atendimento dos pedidos, os lotes de ressuprimento que tornam mais rentável a operação.

Os resultados obtidos foram bastante consistentes com a realidade, mostrando ser possível reduzir os estoques médios em cerca de 7%, gerando uma economia anual de 3,7 milhões de reais, mantendo, mesmo assim, níveis de serviço bastante elevados.

**Palavras Chave:** estoques de segurança, nível de serviço, lotes econômicos, derivados de petróleo.



## ABSTRACT

**AUDI, Marcio Sergio. MANAGING STOCKS AND CUSTOMER SERVICE LEVEL AT PETROLEUM PRODUCTS SUPPLY CHAIN.** 2010. 82. Theses (Master Degree in Civil Engineering). Florianopolis.

Petroleum products consumed in Brazil, specifically at Middle West, are supplied from “refinaria do planalto”, by means of a pipeline that move gasoline and Diesel oil to the terminal distribution of Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia and Brasília. Inventories are controlled by practical criteria which aim to fully meet the market without an economic analysis. Using the model proposed by CHOPRA & MEINDL for a set of demand data, cycle time, replenishment and storage costs, it was possible to determine the safety stocks to a service level of 96% for fulfillment of requests and economical lots of replenishment that make the operation more profitable. The results were fairly consistent with reality, proving to be possible to reduce the average inventory in 7%, reducing costs about 2 million US\$ per year, still keeping high service levels.

**Key Words:** safety stocks, service level, economical lots, petroleum products.



# **CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO**

## **1.1. Caracterização do problema**

O atual gerenciamento de estoques de petróleo e derivados na Petrobras é reflexo de uma política de pleno atendimento da demanda do mercado interno, consequência do monopólio do petróleo extinto em 1998. A Petrobras, como empresa executora do monopólio da união, tinha como missão garantir o abastecimento de produtos de petróleo assumindo, se necessário, custos na forma de estoques de segurança, estoques reguladores, fretes e importações de produtos. O repasse destes custos para o preço do produto final era, muitas vezes, limitado por políticas econômicas e ou desenvolvimentistas do governo federal, que utilizavam o congelamento de preços como instrumento político para controle da inflação ou para o crescimento da economia.

Como primeira consequência da quebra do monopólio estatal do petróleo, houve uma maior flexibilização nos preços dos derivados de petróleo e uma paridade com os preços praticados no mercado internacional. Num primeiro momento, os ajustes de preços passaram a ser feitos mensalmente, com base na variação dos preços do mercado internacional, mas logo as singularidades da economia brasileira exigiram a participação reguladora do estado e os repasses de preços passaram a ser negociado caso a caso com a Petrobras, permitindo ao governo federal exercer novamente o poder regulador sobre a inflação e o crescimento da economia.

Em segundo lugar, a quebra do monopólio do petróleo e a paridade de preços com o mercado internacional induz a uma melhor gestão sobre os estoques. Diferentemente de manter o mercado abastecido, a preocupação da logística concentra-se em estabelecer níveis de serviço de atendimento aos pedidos dos clientes, em estabelecer estoques de segurança e estabelecer lotes econômicos de ressuprimento que atendam estas necessidades e garantam uma maior economicidade do negócio.

Em uma empresa petrolífera integrada como a Petrobras, que atua tanto na produção de petróleo, como no refino, como na distribuição de derivados, a gestão de estoques permite administrar a produção, reduzir custos e melhorar o atendimento ao cliente. Em um mundo globalizado onde as oportunidades de ganho são restritas, a gestão de estoques reveste-se de importância capital para a manutenção do negócio e crescimento da empresa.

## 1.2. Justificativa e importância do trabalho

O gerenciamento adequado dos estoques de petróleo e seus derivados ao longo da cadeia de suprimento é fundamental para a manutenção do negócio e crescimento da empresa. Os custos em manter estoques são de grande monta, representando, no estudo de caso, centenas de milhões de reais. Adequar as quantidades destes ativos à demanda permite uma melhor distribuição dos recursos disponíveis (capital) em investimentos prioritários; um melhor balanceamento dos produtos em estoque; melhor controle e atendimento da demanda; satisfação do cliente; conhecimento dos riscos de suprimento do mercado e estabelecimento de políticas de abastecimento.

## 1.3. Objetivos

A proposta deste trabalho é apresentar um modelo de gerenciamento de estoques de derivados de petróleo, definindo estoques de segurança e lotes econômicos de ressuprimento. O modelo será aplicado em estudo de caso para os principais produtos comercializados, gasolina e Diesel, nos terminais de distribuição do Oleoduto São Paulo Brasília (OSBRA) da Petrobras.

## 1.4. Proposta metodológica

O controle do processo será feito através do estabelecimento de níveis de serviço ao cliente (*fill-rate*), de acordo com o risco aceitável de não atendimento da demanda, e das quantidades determinadas para os lotes econômicos de ressuprimento. Os lotes econômicos de ressuprimento serão determinados por um balanço econômico dos custos entre o excesso de estoques e a falta de estoques. Para determinar os lotes econômicos, as facilidades disponíveis nos terminais de distribuição (capacidade de armazenamento, vazões de recebimento e jornada de trabalho) serão consideradas.

## 1.5. Resultados obtidos

Estabelecido um nível de serviço, determinaram-se os estoques de segurança de gasolina e Diesel nos terminais de distribuição, considerados os dados de demanda de 2005 a 2007. Os anos de 2008 e 2009

foram desconsiderados em razão das circunstâncias da economia mundial, em superaquecimento (2008) e recessão (2009).

Os lotes econômicos de ressuprimento foram determinados com base no balanço de custos e nas facilidades disponíveis em cada base de distribuição. Os lotes econômicos apresentaram diferenças entre 5 % e 10% menores do que a média dos valores praticados na operação do duto. Empregando o modelo proposto, foi possível reduzir os estoques em 7%, representando cerca de 3,7 milhões de reais por ano.

#### 1.6. Limitações

As principais limitações do modelo são:

- O modelo não leva em conta a sazonalidade da demanda de Diesel. Entre dezembro e fevereiro há um decréscimo de 50% na demanda média por conta da entressafra do Centro-Oeste. Este resultado representa 25% da demanda anual e um grande esforço no levantamento de dados. Da mesma forma, a demanda varia de acordo com o dia da semana, as retiradas são maiores as terças, quartas e quintas feiras. Por simplificação, o modelo considera as demandas médias semanais, dado que os lotes econômicos buscam repor a demanda semanal compatibilizando produção e suprimento de todos os terminais.
- A avaliação econômica para determinação dos lotes de gasolina e Diesel considera o custo de oportunidade de capital investido em estoques, que representa 80% dos custos envolvidos, além do custo da venda perdida, as tarifas de movimentação e armazenagem e o custo do pedido.
- O recebimento dos lotes em cada terminal considerou a vazão média de recebimento, com base no histórico de movimentações, por razões de simplificação do modelo.





## **CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Produção de Derivados**

O estado de São Paulo possui quatro refinarias de petróleo, todas da Petrobras, que processam cerca de 800.000 barris/dia (127.000 m<sup>3</sup>/d) de petróleo bruto. São responsáveis pelo abastecimento de cerca de 40% do mercado brasileiro de derivados de petróleo e necessitam movimentar por oleodutos entre outros produtos: gasolina A (gasolina sem adição de etanol) e Diesel. A área de influência compreende os mercados da Grande São Paulo, do estado de São Paulo, do Centro – Oeste, do sul de Minas Gerais, oeste do Rio de Janeiro e norte do Paraná. Para compatibilizar o balanço material entre produção e demanda há necessidade de exportações e/ou importações de derivados pelos terminais aquaviários.

Parte do mercado do interior do estado de São Paulo e todo o Centro-Oeste são abastecidos por um oleoduto denominado OSBRA (Oleoduto São Paulo - Brasília) que transporta gasolina A e Diesel produzidos na REPLAN (Refinaria do planalto). Os produtos são destinados aos terminais de distribuição de Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília. As quantidades movimentadas mensalmente variam com os períodos de entressafra e safra no Centro-Oeste quando a demanda de Diesel varia de 270.000 m<sup>3</sup> a 480.000 m<sup>3</sup>. A demanda de gasolina é mais constante, variando de 140.000 m<sup>3</sup> a 170.000 m<sup>3</sup>.

Os derivados, gasolina A e Diesel são obtidos através das unidades de craqueamento catalítico e de destilação atmosférica, respectivamente. As unidades de destilação atmosférica processam uma mistura de petróleos nacionais (85% da mistura) e petróleos importados. As unidades de craqueamento catalítico transformam correntes intermediárias em gasolina A e gás liquefeito de petróleo (gás de botijão), preferencialmente.

Os petróleos são alocados a uma determinada refinaria com base nos rendimentos previstos em derivados de cada petróleo, com base nas características do parque de refino instalado em cada refinaria (tipos de unidades e produtos associados), e com base no mercado a ser atendido. Cada refinaria busca aperfeiçoar o processamento de matéria prima que forneça o melhor resultado econômico por barril processado, produzindo derivados de maior valor agregado de maneira a aproveitar o potencial da matéria prima processada e gerar maior rentabilidade para a companhia.

Além da produção própria de derivados, pode ser necessária a transferência de produtos intermediários de outras refinarias, que serão utilizados em mistura na formulação da gasolina A e do Diesel, para atender necessidades sazonais de demanda. Um esquema básico de refino é mostrado na figura 1.

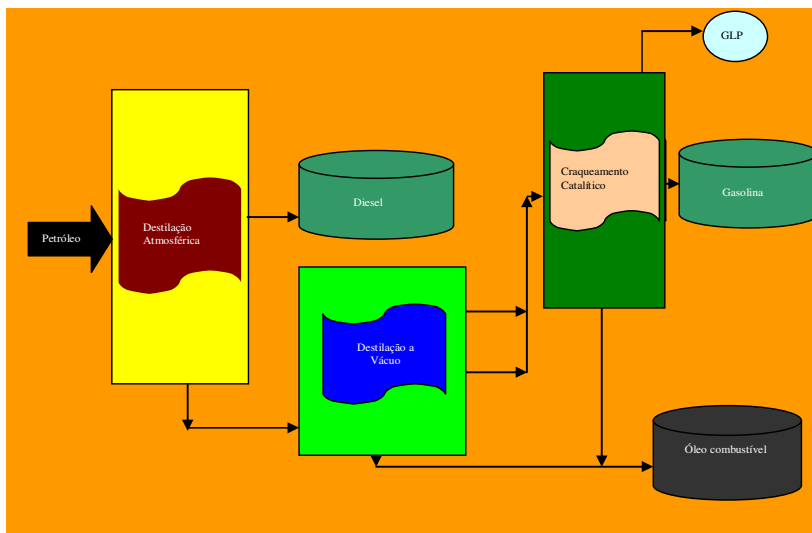


Figura 1 – Esquema básico de refino. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)

A produção de Diesel é primordialmente oriunda da destilação atmosférica e existem processos de acabamento que conferem qualidade extra ao produto. Diesel é uma mistura de hidrocarbonetos com características físico-químicas específicas para utilização em motores de combustão interna de ciclo Diesel. Nas regiões metropolitanas das principais cidades de cada estado, utilizam-se o S500 (500 mg/kg de enxofre total) em ônibus urbano, caminhão urbano, geradores de energia elétrica, e utilitários. Nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro as frotas de ônibus municipais consomem, desde janeiro de 2009, o S50 (50 mg/kg de enxofre total) em acordo com o programa de redução de emissões de poluentes atmosféricos do CONAMA. Em regiões mais afastadas dos grandes centros, veículos como ônibus interestaduais, tratores agrícolas, máquinas agrícolas, embarcações, termoeletricas e caminhões pesados utilizam o Diesel S1800 (1800 mg/kg de enxofre total). A principal diferen-

ça entre eles reside no teor de enxofre, que é bastante reduzido no produto consumido nas grandes cidades para controle de emissão de poluentes na atmosfera das cidades.

A produção de gasolina A consiste em uma formulação cuja base vem das unidades de craqueamento catalítico acrescida de outras correntes incorporadas à mistura final de modo a conferir as propriedades adequadas ao derivado. A gasolina A é uma mistura de hidrocarbonetos com características físico-químicas específicas para utilização em motores de combustão interna do ciclo Otto (automóveis, motocicletas), sem adição de etanol anidro. É a principal componente da gasolina C (comum), vendida nas bombas das companhias distribuidoras, acrescida de etanol anidro. Este percentual pode variar de acordo com autorização do Poder Executivo, entre 20% e 25% volume, conforme a disponibilidade, ou não de etanol anidro para o mercado interno. A adição de etanol é feita pelas companhias distribuidoras e controlada, atualmente, em  $20\% \pm 1\%$ .

## 2.2 A cadeia de suprimento

A cadeia de suprimento de petróleo é o conjunto de estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento das necessidades dos consumidores. Inclui a pesquisa, prospecção e produção do petróleo, bem como a importação de quantidades necessárias para compor o elenco de petróleos desejado. Inclui o transporte do petróleo por navios, o refino, o transporte dos derivados intermediários entre refinarias e consumidores industriais, o transporte de derivados acabados até os terminais de distribuição, as entregas para as companhias distribuidoras, o transporte para os postos distribuidores pelas companhias distribuidoras e finalmente, as vendas para os consumidores finais. A cadeia inclui ainda pesquisa e desenvolvimento de petróleos e produtos, marketing, operações de logística, transporte, finanças, controle de qualidade, e serviços comerciais.

A dinâmica da cadeia inclui o fluxo de materiais desde os poços de petróleo até as entregas nos postos e abastecimento. O fluxo constante e bidirecional de informações e finalmente o fluxo de recursos das vendas para o caixa da empresa. A figura 2 ilustra o processo:

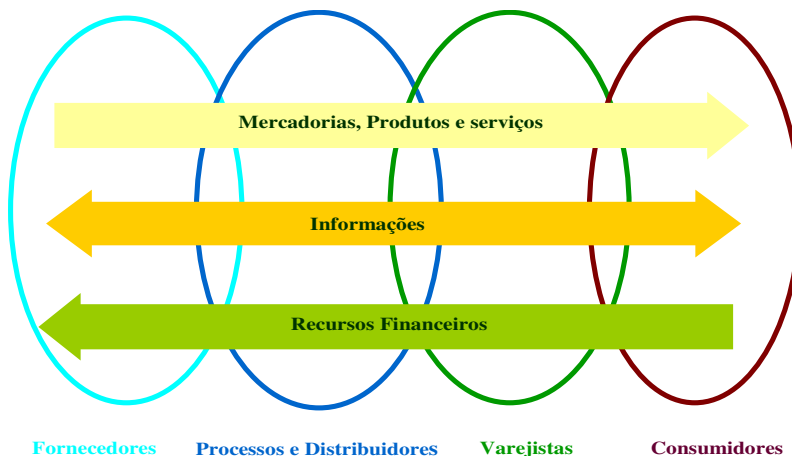


Figura 2 – Fluxo esquemático da cadeia de suprimento de derivados de petróleo. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)

Para abastecimento do mercado de derivados de petróleo emprega-se um modelo de simulação que através de um balanço entre produção e demanda, fornece a movimentação de derivados prevista para o bimestre, de modo a satisfazer ambas variáveis. As entradas do modelo são as produções da refinaria (que a refinaria executa uma vez conhecido o elenco de petróleos alocados), as previsões de mercado (fornecidos pela área comercial com base nos pedidos dos clientes e nos dados históricos), as importações e exportações de derivados (fornecidas pela área comercial com base em contratos de compra e venda e oportunidades comerciais) e os estoques disponíveis tanto na refinaria como nos terminais de distribuição.

De posse dessas informações executa-se o modelo para obter as movimentações de produtos pelos oleodutos de forma a equilibrar as variáveis: produção e demanda. Os resultados são consolidados com as refinarias, com a logística, com a área comercial e com o transportador, todos envolvidos na cadeia suprimento e, uma vez aprovados, elabora-se um seqüenciamento de movimentações pelos oleodutos para atender as demandas e escoar a produção. No caso específico deste estudo, a análise estará concentrada nos produtos gasolina A e Diesel para o Centro-Oeste, produzidos pela REPLAN e movimentados pelo OSBRA.

Normalmente a demanda é superior à produção, e nesse caso existe a transferência (ou importação) de intermediários de outras refinarias para mistura com a produção da REPLAN.

São estabelecidos lotes de ressuprimento com base em um número de ciclos de operação do oleoduto, na demanda total dos terminais, na produção da refinaria e no tempo necessário para chegada do item.

O início da movimentação dos lotes é estimado em função dos estoques nos terminais de distribuição, usando o conceito de cobertura do estoque (número de dias que o estoque é capaz de atender à demanda). Em geral usa-se dois dias como cobertura de estoque que se traduz no ponto de pedido ou de ressuprimento (o momento em que estoque alcança determinado valor, equivalente à cobertura em dias de demanda para que a transferência de novo lote se inicie). Este valor considera o tempo necessário para o produto chegar ao destino, encher um tanque, repousar, haver a drenagem de água do tanque e, finalmente, fazer a análise de recertificação do produto para venda. Alguns desses tempos variam de base para base em função do tamanho do tanque, do número de tanques envolvidos na operação, da demanda e dos estoques existentes.

O início das movimentações depende também da produção e dos estoques existentes na REPLAN para que o produto esteja disponível para bombeamento. O produto é certificado na refinaria antes do envio. Ao chegar aos terminais é recertificado (somente alguns itens de qualidade são analisados) para verificar se houve contaminação durante o transporte.

Nos terminais de distribuição as companhias distribuidoras, ou recebem os derivados em tancagem própria e depois efetuam o carregamento de caminhões-tanque, ou utilizam a tancagem própria da Petrobras para carregamento de caminhões-tanque. Estes caminhões são responsáveis pelo abastecimento da rede de postos distribuidores de cada companhia, conforme esquematizado na figura 3.

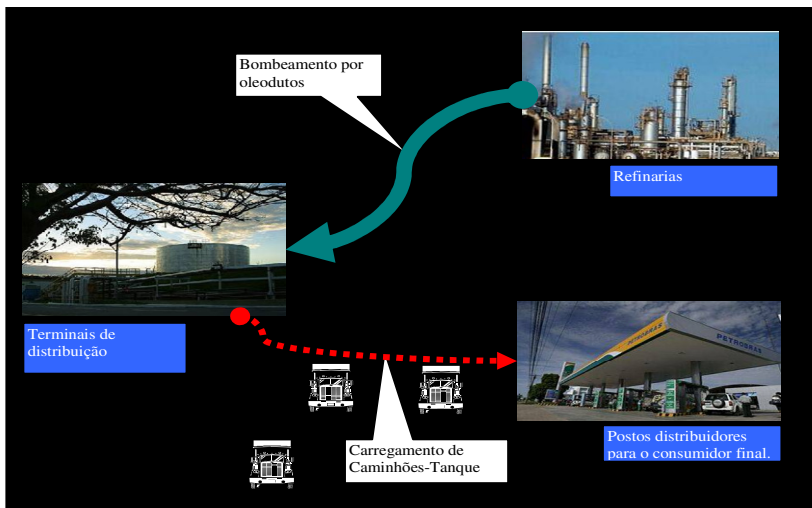


Figura 3 – Distribuição de derivados. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)

### 2.3 Estratégia atual de controle de estoques

Um grande número de variáveis está envolvido nas operações de movimentação e influem na variabilidade dos estoques tais como: importações de derivados, demandas sazonais, oportunidades comerciais, paradas não programadas de unidades de processamento, exportações de derivados, operações de cabotagem, contratos de manutenção, horário de funcionamento das bases, pedidos adicionais e cortes solicitados pelos clientes, entre outras.

O controle das entregas de derivados em cada terminal de distribuição é feito por rateios de quotas. Ou seja, cada companhia faz um pedido mensal de retirada de produtos, por terminal de distribuição. O pedido é analisado quanto a possibilidades físicas de atendimento de cada terminal, quanto à existência de saldos de quotas (positivos ou negativos, referentes a períodos anteriores), disponibilidade de crédito (situação financeira da companhia), volumes contratuais e determinações da Agência Nacional do Petróleo (ANP). Estabelece-se então uma quota mensal por derivado, por companhia, e por terminal de distribuição que deverá ser entregue pela Petrobrás ao longo do período estabelecido, sem favorecimentos. Para tanto, as companhias distribuidoras elegem um Coordenador que serve de interlocutor com a Petrobrás e rateia as quantidades a serem entregues diariamente por companhia e por base de distribuição.

Dividindo-se a quota mensal pelos dias em que haverá carregamento (as bases normalmente carregam de segunda a sexta-feira), encontra-se uma quota média diária. Na prática, costuma-se utilizar como estoque de segurança duas a três quotas - dia como estoque mínimo de modo a garantir que não haverá problemas de suprimento. Desta forma, pretende-se que não haja falta de produto, o nível de serviço será bastante alto, e o estoque certamente representará um valor elevado em termos de imobilizado.

Aprofundar as possibilidades de redução e controle de estoques que levem a melhores resultados, com um nível de serviço adequado, é interessante uma vez que os valores envolvidos em manter produtos em estoques representam dezenas de bilhões de reais. Um melhor gerenciamento destes ativos permite uma melhor distribuição dos recursos disponíveis (capital) em investimentos prioritários; um melhor balanceamento dos produtos em estoque; melhor controle e atendimento da demanda; satisfação do cliente; consolidar a imagem da companhia e a subsistência do negócio.

## 2.4 Razão da existência dos estoques

“Estoques são acúmulos de recursos materiais entre fases específicas de processos de transformação” (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001). Esses acúmulos permitem que diferentes etapas dos processos de transformação tornem-se praticamente independentes, de modo que um atraso em uma etapa não interfira com as etapas subsequentes. Estoques reguladores são aqueles que permitem amortecer variações entre oferta e demanda, ou entre produção e consumo. Por exemplo, o governo usa estoques reguladores de alimentos para atender a demanda em períodos de entressafra, quebra de produção agrícola, ou para controle de preços. Na indústria de transformação os estoques reguladores de matéria-prima servem para amortecer falhas tanto no fornecimento (prazo e quantidade), como na produção (quebra de equipamentos, falta de energia elétrica). Os estoques reguladores de produtos intermediários (ou semi-acabados) servem para amortecer variações entre duas etapas de processamento subsequentes. Os estoques reguladores de produto final servem para amortecer variações entre o processo produtivo e a demanda do mercado.

“Os estoques existem para assegurar a disponibilidade da mercadoria e reduzir custos de produção e distribuição. Os estoques propiciam:

a) Melhoria do nível de serviço - Os estoques beneficiam as atividades de comercialização e *marketing* pela disponibilidade de produtos e serviços que, quando localizados mais próximos aos clientes, podem satisfazer uma elevada exigência de nível de serviço. Reduz os custos de vendas perdidas ou, conservadoramente, desconsiderando questões de fidelidade do cliente à marca e de imagem da companhia, evita o prejuízo pela não realização da venda do produto.

b) Economias de produção - Estoques agem como amortecedores entre oferta e demanda, possibilitando operações mais constantes das unidades produtoras. Variações de tempo entre produzir e transportar, através do canal logístico, podem causar incertezas que impactem em custos operacionais ou em prejuízo do nível de serviço. Os estoques reguladores são mantidos ao longo do canal logístico para amortecer estas variações.

c) Economias de escala nas compras e transporte - Estoques podem garantir economias no transporte pela movimentação de grandes lotes, compatíveis com as capacidades de transferência dos modais, garantindo fretes unitários menores. Descontos são normalmente concedidos na compra de lotes maiores. Alguns modais de transporte como: navios, trens e caminhões, podem gerar economias no frete se o gerenciamento da cadeia considerar a logística reversa. Na indústria do petróleo, navios transportam derivados acabados e voltam ao porto de origem com petróleo a bordo.

d) Proteção contra aumento de preços - Compras antecipadas podem gerar proteção contra aumentos futuros de preços, embora gerem estoques que precisam ser administrados. Na indústria do petróleo, as compras antecipadas são usadas como proteção contra aumentos de preços em situações de conflito.

e) Proteção contra incertezas de demanda e tempo de ressuprimento - O estoque regular ou do ciclo é necessário para satisfazer a demanda entre dois ressuprimentos sucessivos, ou ciclos de ressuprimento. O estoque regular pode ser determinado com base nos dados históricos e, usando ferramentas estatísticas, ser usado para previsões fu-



turas. As variações aleatórias na demanda e no tempo de ressuprimento são contornadas pelo estoque de segurança. Este estoque de segurança poderá cobrir outros imprevistos como:

- Falhas de suprimento;
- Queda de produção;
- Falhas no transporte;
- Informações lentas, não confiáveis ou inexatas;
- Qualquer outra ruptura nos serviços.

O estoque de segurança previne perturbações entre o consumidor e a produção, permitindo um trabalho mais efetivo e independente.

f) Proteção contra contingências - Manter estoques é uma maneira de garantir o fornecimento normal de produto em situações de greves, incêndios, inundações e quaisquer desastres naturais.

Evidentemente, manter estoques oferece benefícios e certa comodidade, mas os estoques têm contra si custos elevados e por essa razão tornaram-se assunto de vital interesse para as empresas. O gerenciamento de estoque é essencial para as empresas, pois estes são considerados, quando em excesso, desperdícios, já que absorvem capital que poderia estar sendo investido em outros projetos, como melhorias de produtividade e competitividade. Além de desviar recursos de potenciais melhorias, possui custo de capital como qualquer outro investimento da companhia, estando sujeito à análise de viabilidade econômica e prioridades. Os estoques podem mascarar problemas de qualidade de produtos e mascarar problemas de gestão e controle em determinados estágios da cadeia logística, impedindo o aperfeiçoamento do todo. Por estas razões a previsão dos estoques de segurança deve ser feita com precisão” (BALLOU, 1993).

## 2.5 Nível de serviço

“Nível de serviço é a qualidade com que o fluxo de bens e serviços é gerenciado. É fator-chave do conjunto de valores logísticos que as empresas oferecem aos seus clientes para assegurar sua fidelidade. O produto oferecido por uma

empresa deve ser mensurado pelo preço, qualidade e serviço.

Uma classificação dos elementos que constituem o nível de serviço de acordo com o momento da transação do produto é apresentada abaixo:

a) Elementos de Pré-transação - propicia o ambiente para um bom serviço, deixando claro aos clientes o que podem esperar do serviço oferecido. São eles:

- Declaração por escrito da política de serviço ao cliente;
- Planos de contingência para greves ou desastres naturais;
- Estrutura organizacional;
- Flexibilidade do sistema.

b) Elementos de Transação – são aqueles que resultam diretamente na entrega do produto ao cliente. São eles:

- Organização dos níveis de estoque;
- Seleção de modais de transporte;
- Prazos e alternativas de entrega.

c) Elementos de Pós-Transação – suporte ao produto para proteção dos consumidores contra produtos adulterados. São eles:

- Administrar reclamações, reivindicações e devoluções;
- Rastreamento do produto.

O nível de serviço avalia o desempenho da empresa quanto a:

- Disponibilidade do produto;
- Prazo de entrega contado a partir do recebimento do pedido até a entrega efetiva ao cliente;
- Confiabilidade do prazo de entrega informado ao cliente;
- Flexibilidade na entrega, relacionada com a facilidade com que a empresa modifica as condições iniciais do pedido, principalmente com relação a quantidades e datas.” (BALLOU, 1993).

“O nível de serviço é importante elemento de satisfação do cliente e, quando o assunto é serviço ao cliente, dois aspectos são importantes: relações com o cliente e disponibilidade de serviços.

a) Relações com o cliente:

Tratam de manter a satisfação do cliente. Requerem habilidades interpessoais para garantir que o cliente tenha a correta noção das expectativas a serem atendidas e, que estejam felizes, com possibilidade de repetirem os negócios e de ampliar vendas. Os principais fatores que afetam as relações com clientes estão na comercialização e no processamento dos pedidos fora, portanto, do escopo de controle de estoques.

b) Disponibilidade de serviços

É a chave para o controle de estoques e requer gerenciamento técnico. O risco de falha no atendimento ao cliente pode ser reduzido se aumentarmos os níveis de estoque. Quanto maior o investimento em estoques melhor o nível de serviço, mas o valor do estoque aumenta consideravelmente quando tentamos alcançar níveis de serviço muito bons. O nível de serviço global ao cliente pode ser medido pela disponibilidade no tempo (base diária, semanal ou mensal).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Demanda Satisfeita}}{\text{Demanda Total}}$$

Este critério pode ser aplicado para verificar se o controle de estoques está adequado. Os níveis mínimos de estoque serão resultado do controle de estoques para satisfazer níveis ótimos de serviço. O único meio de reduzir estoques mantendo os níveis de serviço é aumentando o controle.” (WILD, 1997).

### 2.5.1 Administrando o nível de serviço

“Administrar o nível de serviço é estabelecer critérios que permitam planejar, executar e medir as atividades logísticas, como descritas abaixo:

a) Administrar a demanda - pressupõe que a empresa faça previsões acuradas e disponibilize tais quantidades para entrega. Maior flexibilidade pode ser obtida através de:

- Estoques de segurança para atender uma demanda maior ou
- Capacidade produtiva para suprir emergências.

Além de simplesmente aceitar os pedidos, outras ações podem ser tomadas para administrar a demanda

Aumentar ou reduzir os níveis de estoque.

Antecipar ou postergar entregas.

Oferecer pólos alternativos de suprimento.

b) Determinar o serviço desejado - é necessário determinar os requisitos de serviço e ajustar o nível de serviço logístico para atender as necessidades dos clientes, caso contrário não haverá vantagem em medir o nível de serviço logístico.

Diferenciar clientes - Nem todo cliente precisa ou deve ser tratado da mesma forma. É vantajoso oferecer níveis de serviço diferenciados para um número limitado de clientes. Clientes industriais costumam ser mais sensíveis a variações na entrega, pois atrasos ou faltas podem provocar a parada de processos produtivos ou o acúmulo de produtos de alto valor.

Medir o desempenho - Estabelecer metas para avaliar o desempenho logístico é importante para auxiliar na manutenção, ao longo do tempo, de padrões estabelecidos. Disponibilidade de 95% e tempo de ressuprimento de um dia, são exemplos de padrões estabelecidos.

- O ideal não é buscar excelência em nível de serviço caracterizado por, por exemplo, alta flexibilidade de entrega ou prazo de entrega curtíssimo entre outros. Isso porque alto desempenho nesses critérios não é conseguido sem que tenhamos que arcar com custos que podem comprometer o desempenho da empresa em outros aspectos.” (BALLOU, 2001).

O enfoque moderno no gerenciamento da cadeia logística sugere que as necessidades de serviços dos clientes devem ser satisfeitas dentro de limites aceitáveis de custo. Quanto maior o nível de serviço logístico maior o custo associado. Maior nível de estoques tem custo de manutenção maior do que pequenos níveis de estoques. Custos associados a

determinado nível de serviço precisam ser justificados por vendas potenciais para aquele serviço, contribuindo para os lucros da empresa. É preciso lembrar que melhorias quando se pratica níveis de serviço elevados são mais caras do que melhorias quando se pratica níveis de serviço menores.

A literatura emprega o termo nível de serviço para o atendimento de requisitos de um produto a ser comercializado, em termos qualitativos e quantitativos. Os requisitos qualitativos envolvem política de estoques, contratos de fornecimento, atendimento pós-venda, planos de contingenciamento, programa de visitas a clientes, rastreamento do produto entre outros.

“Os requisitos quantitativos podem ser medidos nos ciclos de ressuprimento de duas maneiras

Como a fração de ciclos de ressuprimento que culminam com o atendimento pleno da demanda. Um ciclo de ressuprimento é o intervalo entre duas chegadas de lotes sucessivas. Definido como: Nível de serviço do ciclo – NSC (*Cycle Service Level*) é a probabilidade de que não ocorra falta de produto para atendimento da demanda no ciclo de ressuprimento.

Como a fração da demanda que é atendida pelo estoque disponível. Definido como: Percentual de Atendimento da Demanda – PAD (*Fill Rate*) é a probabilidade de que a demanda seja atendida pelo estoque disponível.” (CHOPRA e MEINDL, 2004).

## 2.6 Estoques de segurança

O estoque de segurança é o inventário médio existente quando o lote de ressuprimento chega. É necessário porque as previsões de demanda são improváveis quanto à exatidão e a falta de produto acontecerá se a demanda real ultrapassar a demanda prevista. O estoque médio será então a soma do estoque de segurança com o lote de ressuprimento.

Assim, elevando-se o nível do estoque de segurança aumenta a disponibilidade do produto e a receita advinda das vendas. Por outro lado, aumentando o nível do estoque de segurança aumentam os custos em manter estoque.

“Estoque de Segurança – ES (*Safety Stock*) – é o estoque mantido com o propósito de atender a uma variação da demanda que exceda a quantidade prevista para um determinado período (1), ou um atraso no recebimento de um novo lote de produto (2)” (CHOPRA e MEINDL, 2004).

Vide representação da figura 4.

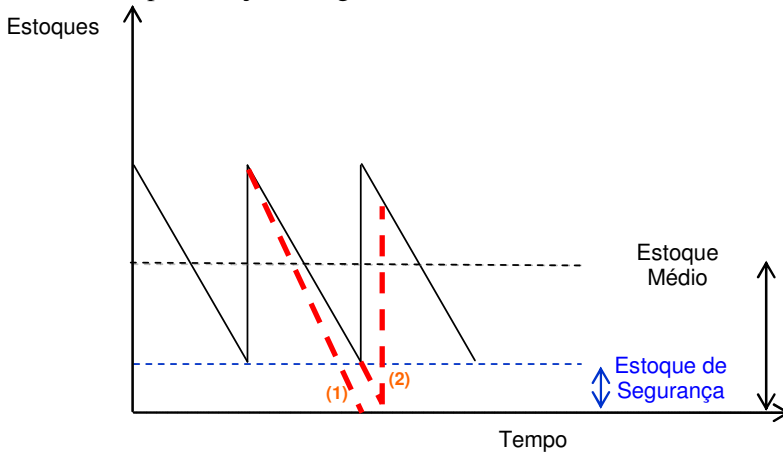


Figura 4 - Variabilidades cobertas pelos estoques de segurança. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)

Uma consideração importante na determinação dos estoques de segurança é saber qual abordagem será dada: estratégia de empurrar estoques, quando a produção é maior do que a demanda; ou estratégia de puxar estoques, quando a demanda determina a produção e proporciona um controle preciso sobre os níveis de estoque em cada local.

Neste trabalho a estratégia será a de puxar estoques e dentre as estratégias de puxar estoques, destacam-se:

- a) Estoque para a demanda – apenas o estoque necessário para atender a demanda daquele ponto é mantido. As quantidades em estoque são proporcionais à demanda;
- b) Ponto de ressuprimento – conhecido como método do estoque mínimo, busca controlar o valor ótimo em estoque de maneira que quando o estoque cai abaixo de um valor conhecido, denominado ponto de ressuprimento, um pedido de um lote de res-

suprimento é solicitado à produção. A quantidade solicitada é conhecida como lote econômico de reposição e deverá ser a quantidade que equilibra os custos de manutenção do estoque e de produção;

- c) Quantidade variável – conhecido também como reposição periódica, tem um período fixo para efetuar revisões periódicas das quantidades em estoque. Um pedido de ressurgimento é calculado como a diferença entre um nível máximo (MAX) e o valor em estoque no momento da revisão. MAX é definido a partir da demanda durante o tempo de ressurgimento e do estoque de segurança contra incertezas durante o tempo de ressurgimento;
- d) *Just-in-time* – útil quando os produtos têm alto valor unitário e necessitam de controle rigoroso. As demandas são conhecidas com elevado grau de certeza, os tempos de ressurgimento são pequenos e conhecidos e não há benefício econômico em suprir quantidades maiores do que as requeridas.

BALLOU (1993) recomenda usar uma composição dos métodos acima citados. O controle existente dos estoques faz uma composição entre os itens b e c, pois o lote de ressurgimento é variável e nem sempre o econômico.

É preciso lembrar que manter estoque de segurança em níveis adequados é sempre necessário. Quanto maiores os estoques de segurança, melhores serão os níveis de serviço. Se um estoque de segurança é inadequado, a empresa falha no seu objetivo de servir ao cliente.

Por outro lado, quando o estoque de segurança é excessivo, os custos elevados indicam um mau gerenciamento de recursos - falta de controle e desperdícios.

## 2.7 Ponto de ressurgimento e tempo de ressurgimento

O ponto de ressurgimento é o nível de estoque que ao ser atingido dispara o processo para que novo lote de produto seja movimentado para o local de entrega, mantendo a constância no atendimento a demanda. Assim, Ponto de Ressurgimento – PR (*ReorderPoint*) – é o nível de estoque que quando atingido dispara o pedido de um novo lote.

O tempo de ressurgimento é o período transcorrido desde o momento em que o ponto de ressurgimento foi atingido, um novo lote foi enviado, recebido, amostrado, certificado e liberado para entrega. Assim, Tempo de Ressurgimento – TR (*LeadTime*) – é o intervalo de tempo entre o momento que um novo lote é solicitado e momento que é disponibilizado para a entrega. Vide representação na figura 5.

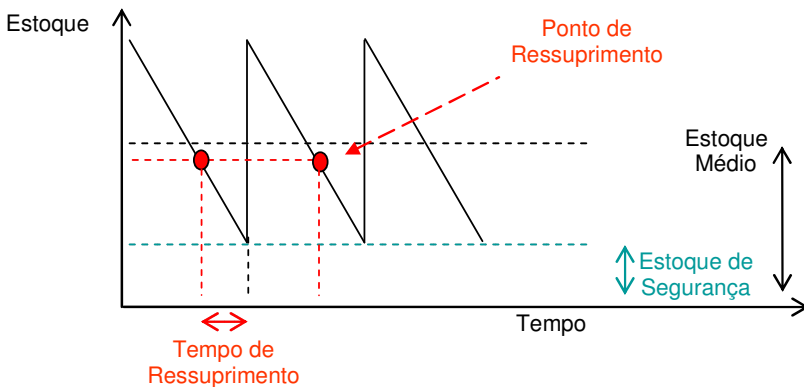


Figura 5 - Definição de Ponto de Ressuprimento e Tempo de Ressuprimento.  
(Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)

Durante o tempo de ressuprimento as empresas ficam expostas à incerteza da demanda.

“Ao atingir o ponto de ressuprimento, o estoque disponível fica sujeito ao não atendimento da demanda se alguma falha ocorrer. Se os lotes de ressuprimento forem pequenos, obrigando a ressuprimentos mais freqüentes, o estoque fica sujeito à falta um maior número de vezes, nos períodos correspondentes ao tempo de ressuprimento” (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001).

Uma empresa será capaz de satisfazer a demanda durante o tempo de ressuprimento se o estoque disponível no ponto de ressuprimento for adequado para cobrir a demanda até a chegada do próximo lote. A incerteza da demanda deverá ser estimada durante o tempo de ressuprimento para todos os períodos de exposição, determinado pelos ciclos de ressuprimento ou freqüência dos pedidos.

Conforme BALLOU (2001), o controle de estoques puxados aceita que a demanda e o tempo de ressuprimento possam não ser conhecidos com certeza. Dessa forma, uma quantidade adicional chamada de estoque de segurança é mantida para haver disponibilidade de estoque.



Esta quantidade é definida pela probabilidade de ocorrência da falta de estoque.

“O controle de estoque pelo ponto de ressuprimento pressupõe que a demanda seja perpétua e atue continuamente sobre o estoque reduzindo seu nível” (BALLOU, 2001 e CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001). Toda vez que uma determinada quantidade é retirada do estoque torna-se necessário verificar o saldo restante. Se este for menor do que uma quantidade predeterminada, conhecida como ponto de ressuprimento, é preciso repor o estoque com uma quantidade chamada de lote de ressuprimento. Existe um lapso de tempo para que este lote de ressuprimento esteja disponível para atendimento aos clientes (produção, transferência, recebimento e análise), chamado tempo de ressuprimento (*lead-time*). Uma ilustração gráfica do modelo proposto pode ser visto na figura 6.

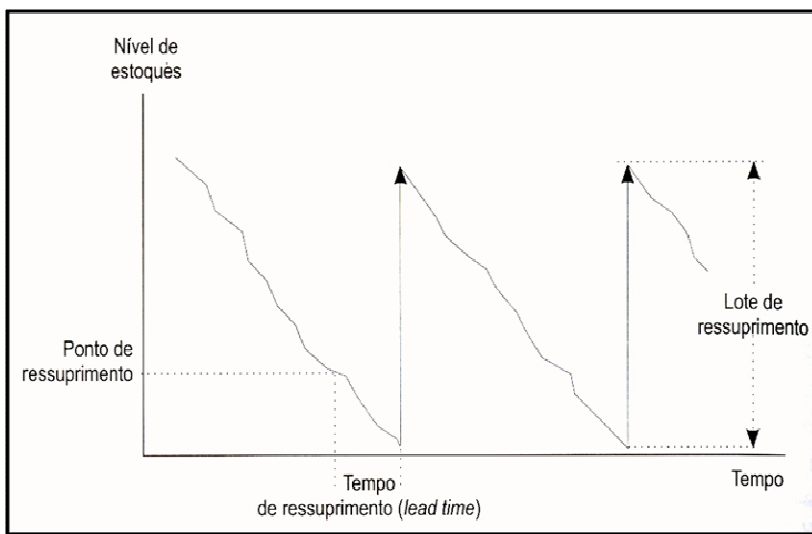


Figura 6 - Modelo do ponto de reposição. (Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)

“O modelo do ponto de ressuprimento exige pressupostos fortes como demanda constante e possibilidade de determinação de custos unitários. Se a demanda não for constante, o lote calculado não minimiza os custos e deixa de ser econômico. Em não sendo

o lote econômico a empresa não trabalha minimizando custos e pode obter do modelo resultados não satisfatórios. Nem sempre é simples ou possível determinar os custos unitários. Como o cálculo do lote econômico exige dados de custo, o fato de arbitrar valores pode levar a menos aderência do modelo e resultados comprometedores” (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2001).

## 2.8 Custos relativos aos estoques

CHOPRA e MEINDL (2004) classificam os custos envolvidos no gerenciamento dos estoques em dois grandes grupos de interesse: custos em manter estoques e custos dos pedidos.

Os custos em manter os estoques representam custos proporcionais às quantidades estocadas e ao tempo que permanecem em estoque. São estimados pela soma das parcelas citadas abaixo, embora nem sempre se apliquem a todas as situações:

- a) Custo de capital. Este custo representa a perda de receita por ter capital investido em estoques ao invés de outra atividade econômica. Normalmente o mais importante dos custos em manter estoques. Deve ser visto sempre como custo de oportunidade de capital e a maneira adequada de calculá-lo é empregar a taxa de retorno de capital.
- b) Custos diversos. Engloba um grande número de pequenos custos incluindo roubos, segurança, perdas, taxas e seguros que possam incorrer ao produto.
- c) Custo da falta. Ocorrem quando não há estoque suficiente para satisfazer a demanda em um dado instante de tempo. Alguns exemplos são custo da venda perdida, deterioração de imagem, multas contratuais, perda de *market-share*, reprogramação e planos de contingência.

Os custos dos pedidos representam custos associados com colocar e receber um pedido adicional sem levar em consideração a quantidade pedida. São representados pelas parcelas listadas abaixo:

- d) Tempo do comprador. Este custo refere-se ao tempo adicional gasto pelo comprador para colocar um pedido extra. Só deve ser considerado se o tempo gasto pelo comprador para o pedido adicional for integral. Pedidos eletrônicos reduzem drasticamen-

te o tempo do comprador, tornado o pedido adicional simples e automático.

- e) Custos de frete. O custo fixo de frete incorre sem levar em consideração a quantidade pedida. O custo de frete será o mesmo para uma carga completa ou meia carga de um caminhão, por exemplo. Outro custo menor refere-se ao carregamento do caminhão, composto por uma parcela fixa, independente da quantidade pedida, e outra variável, dependente da quantidade. A parcela fixa deve ser considerada no custo do frete.
- f) Custo de recebimento. Alguns custos incorrem independente da quantidade pedida. Estes custos incluem inspeção para verificar o pedido e consolidação para atualizar o estoque. Custos de recebimento que são dependentes da quantidade não devem ser incluídos.
- g) Outros custos. Situações particulares podem apresentar custos que incorrem a cada pedido sem levar em consideração a quantidade pedida.

## 2.9 Políticas de estoques

“Políticas de estoque são sistemas de controle compostos por um conjunto de regras e parâmetros, respondendo a questões como quando e quanto pedir ao longo do tempo. Para representar acuradamente as características e *trade-offs* das operações logísticas reais, estas políticas devem ser parametrizadas com auxílio de modelos matemáticos probabilísticos” (GARCIA, 2006).

“Enfocando características do produto, da operação ao longo do tempo e da demanda é possível estabelecer políticas de estoque ao longo da cadeia de suprimento” (WANKE, 2008).

Política de reagir à demanda ou planejar por previsões de vendas. Nessa política aparecem duas situações possíveis:

Quando há visibilidade da demanda real e os tempos de resposta das operações são curtos, viabiliza-se a reação à demanda.

Quando não há visibilidade da demanda real e os tempos de resposta das operações são longos, viabiliza-se o planejamento por previsão de vendas.

- a) A política de reagir ou planejar está diretamente relacionada ao estágio da cadeia de suprimento onde é gerada a informação para tomada de decisão (mais próximo do consumidor final ou mais próximo do fornecedor inicial, respectivamente).
- b) Política de antecipação ou postergação em relação ao consumo. Nessa outra política o ponto chave é o posicionamento do estoque em relação ao consumo real ou estimado. Na antecipação, o estoque seria movimentado com antecedência ao consumo real sendo igual às previsões de vendas. Na postergação, o estoque seria movimentado em resposta à demanda real e sempre igual ao consumo real.

“Política de ressuprimento é um conjunto de decisões visando o quando ressuprir e quanto ressuprir” (CHOPRA e MEINDL, 2004).

As políticas de estoques descrevem a relação entre os estoques de segurança e duas das principais técnicas de ressuprimento de estoques: revisão contínua e revisão periódica.

Revisão contínua. O estoque é continuamente monitorado, e um pedido para um lote  $Q$  é solicitado quando o inventário atinge o ponto de ressuprimento (PR). Neste caso, o tamanho do lote não varia entre um pedido e outro. O tempo entre pedidos pode variar com a variabilidade da demanda.

Revisão periódica. O estoque é verificado a intervalos regulares, e um pedido é colocado para elevar os estoques a um batente. Neste caso, o tempo entre pedidos é fixo. O tamanho de cada lote, contudo, pode flutuar com a variabilidade da demanda.

As revisões periódicas requerem mais estoques de segurança do que as revisões contínuas para a mesma disponibilidade de produto.

Na revisão contínua, dado um nível de serviço, nosso objetivo é identificar o estoque de segurança requerido (ES) e o ponto de ressuprimento (PR). O gerenciamento de estoques deve considerar apenas a incerteza da demanda no tempo de ressuprimento, dado que o controlador pode ajusta o tempo de chegada do lote em função da demanda real. Se a demanda é grande, o estoque alcança rapidamente o (PR), levando a uma reposição rápida. Se a demanda é baixa, o estoque alcançará o (PR) lentamente, levando a um atraso na reposição. Uma vez o pedido colocado, não há recurso durante o tempo de ressuprimento. O estoque de segurança deve cobrir a variabilidade da demanda nesse período. Tipicamente o tamanho do lote é fixo entre ciclos de ressuprimento.

Na revisão periódica, os estoques são revistos após um período (TR) entre pedidos sucessivos. Um pedido é colocado de modo que os estoques existentes somados com o lote de ressuprimento atingem um

valor estabelecido. O tamanho de cada lote varia dependendo da demanda real entre sucessivos ressuprimentos e do estoque existente no momento do pedido. Apresenta vantagens tais como a simplicidade de implantação dado que não requer recursos para monitorar os estoques continuamente. Os fornecedores também preferem essa política porque resulta em lotes de ressuprimento a intervalos regulares.

## 2.10 Considerações

O gerenciamento dos estoques de derivados de petróleo apresenta oportunidade de ganhos expressivos de capital pela determinação de estoques de segurança capazes de garantir o atendimento da demanda durante os ciclos de ressuprimento. Esta determinação depende do estabelecimento de níveis de serviço que permitam adequar os interesses econômicos com melhorias no atendimento ao cliente. Os lotes de ressuprimento, definidos através de um balanço econômico, deverão atender os requisitos de estoques de segurança e níveis de serviço.

As vantagens inerentes em manter estoques devem ser equilibradas de maneira a melhorar o atendimento ao cliente, buscando atender a demanda com um mínimo de falhas, sem esquecer que estoques representam custos consideráveis e encobrem problemas tanto de qualidade intrínseca dos produtos como de controle ao longo da cadeia de suprimento. A metodologia apresentada a seguir busca determinar os estoques de segurança analisando a variabilidade da demanda e do tempo de ressuprimento, estabelecido um nível de serviço. De posse destas informações, determinar lotes econômicos de ressuprimento com base nos menores custos totais de transporte.



# CAPÍTULO 3 – BASES METODOLÓGICAS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

## 3.1 Modelos Matemáticos

As práticas relatadas na literatura indicam o emprego de modelos matemáticos como ferramentas de apoio a decisão no gerenciamento dos estoques. “A gestão de estoques em ambientes complexos, como as cadeias de suprimentos compostas por diversos estágios, não é um processo trivial, podendo acarretar impactos significativos nos níveis de serviço ao cliente e nos custos totais.” (WANKE, 2008)

Considerando o montante envolvido e a importância dos estoques no nível de serviço oferecido ao cliente, a definição das metas de estoques deve ser realizada com um procedimento objetivo, rigoroso e reprodutível, para fins de validação e de atualização das metas. Para proteger as empresas das incertezas nas operações logísticas, empregam-se estoques de segurança que buscam minimizar os efeitos destes imprevistos. A determinação dos estoques de segurança é feita com base em duas variáveis principais: o tempo de ressuprimento e a demanda no período. Na figura 7 estão representadas as relações de dependência entre demanda e tempo de ressuprimento.

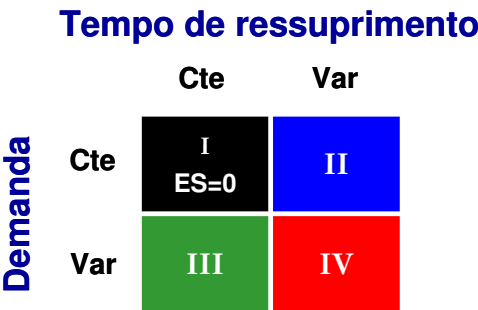


Figura 7 - Relações de dependência entre demanda e tempo de ressuprimento. (Fonte: Petrobras - AB-LO/OL/OSP)

O quadrante I representa os modelos determinísticos onde não existe incerteza e tampouco variáveis aleatórias. Nesse caso, como não há variabilidade, o estoque de segurança é zero.

Os demais quadrantes representam os modelos probabilísticos onde a melhor maneira de se lidar com as incertezas é através dos estoques de segurança.

No quadrante III, um dos modelos probabilísticos mais conhecidos é o modelo *Newsvendor* (problema do jornaleiro). A demanda é uma variável aleatória e um pedido é colocado para atendimento desta demanda em um dado período de tempo. Ao final do período há um custo associado à falta (caso a demanda não seja atendida), ou um custo associado ao excesso (quantidade ofertada maior do que a demanda).

Neste trabalho o estudo de caso situa-se no quadrante IV onde tanto a demanda como o tempo de ressuprimento são variáveis aleatórias.

Além dos estoques de segurança é necessário determinar os custos envolvidos. CHOPPRA e MEINDL (2002), e GARCIA (2006), afirmam que estes custos não precisam ser calculados com elevado grau de precisão. É melhor obter uma boa aproximação rapidamente do que gastar muito tempo para obter custos exatos. Os principais custos são: custos do pedido e custos em manter estoques.

### 3.2 Métodos Analíticos

As melhores práticas relatadas em estudos de caso de logística indicam o emprego de métodos analíticos, que estimam o estoque de segurança em função de duas variáveis principais: o tempo de ressuprimento e a demanda no período. Os métodos analíticos possibilitam determinar os estoques de segurança com base em duas variáveis aleatórias, demanda e tempo de ressuprimento, e em um parâmetro estabelecido de nível de serviço. Caso esta representação seja suficientemente fidedigna do comportamento do sistema, ou seja, caso a operação não requeira considerações adicionais, é possível que a solução do procedimento analítico esteja próxima daquela obtida por simulação.

Os métodos analíticos são mais rápidos de desenvolver e atualizar, porém o seu domínio de validade depende de premissas que, dependendo do caso, podem revelar-se irrealistas e que, portanto, podem inviabilizar a aplicação do modelo. São baseados em um conjunto de fórmulas e/ou algoritmos computacionais utilizados para gerar métricas de desempenho a partir de parâmetros do modelo.

O método analítico foi escolhido pela praticidade e por não dispormos de modelo mais robusto. Serão empregadas planilhas em Excel para os cálculos.



Tabela 1 - Métodos para a solução de modelos de gerenciamento de estoques

Simulação	Analíticos
Em geral, desenvolvidos em <i>softwares</i> específicos.	Podem ser desenvolvidos em planilha eletrônica.
Permite uma representação mais detalhada do comportamento do sistema.	Rápido desenvolvimento, permitindo maior tempo para análise.
Robustez da decisão.	Fáceis de verificar e validar.
Maior quantidade de dados e esforço de análise.	Podem ser calculados com um número relativamente reduzido de dados.
Número maior de respostas sobre o desempenho do modelo.	Permitem uma convergência mais rápida na determinação dos estoques de segurança.

### 3.3 Método de simulação

A simulação oferece resultados mais robustos e detalhados sobre o comportamento dos modelos, todavia requer um tempo superior para a análise do sistema tendo em vista o número significativamente maior de dados que um modelo desta natureza necessita.

Os métodos de simulação consistem na modelagem de regras e lógicas para o gerenciamento de estoques e atendimento da demanda em um software específico, onde as variáveis aleatórias são geradas pelo computador (qualquer distribuição de probabilidade).

A Simulação Computacional é uma técnica de Pesquisa Operacional que visa à criação de um modelo matemático para imitar determinada realidade. Embora representando a realidade de forma simplificada, o modelo deve ser ajustado (calibrado) até produzir resultados coerentes com os observados na prática, permitindo assim minimizar distorções de percepção na análise de diferentes cenários, atuais e futuros.

Esta técnica, aplicada ao sistema oleoduto/terminais de distribuição, gera modelos que representam eventos relacionados às entradas e saídas de produtos em tanques, permitindo avaliar a adequação do sis-

tema à produção e demandas nos terminais, capacidades de tancagem, correlação entre os custos logísticos e os estoques de segurança, representados principalmente pelo custo financeiro dos estoques, e dos níveis de serviço proporcionados por estes estoques.

Alguns exemplos de cenários que podem ser avaliados através de modelos são: variações na demanda, variações nos tempos de preparo de tanques, variações na produção ou tempo de reposição, diferentes políticas de estoque e empreendimentos que afetem o parque modelado.

Um dos maiores ganhos oriundos dos modelos de simulação é a flexibilidade para se alterar parâmetros e configurações sem a necessidade de replicar na prática os resultados obtidos através do experimento, incorrendo em custos proibitivos.

Com o modelo de simulação, é possível analisar diversos parâmetros, tais como:

- Ocupação da tancagem (adequação da capacidade e comportamento no tempo);

- Nível de atendimento às demandas (nível de serviço);

- Giro da tancagem;

- Nível do estoque (estoque médio e comportamento no tempo);

- Ocorrências de falta de estoques (*stock-out*);

- Ocorrências de excedentes de estoques (*overstock*);

- Custo da falta de produto e custo do estoque imobilizado;

- Impacto de novos empreendimentos (novas unidades e modernização de unidades existentes).

### 3.4 Resolução do problema

O modelo foi criado com base nas equações propostas por CHOPRA e MEINDL (2004), por apresentar equações que consideram a variabilidade tanto da demanda como do tempo de ressuprimento e por empregar funções do Excel.

O modelo pretende gerenciar estoques através da determinação dos estoques de segurança nas bases de distribuição, reduzindo a probabilidade de falta durante os ciclos de ressuprimento. Considera a distribuição de probabilidade de demanda e do tempo de ressuprimento, com base no nível de serviço desejado - percentual de atendimento da demanda - com um mínimo de custo logístico. Movimenta os lotes econômicos determinados com base na minimização dos custos totais. Permite estabelecer faixas de controle de estoques (mínimo e máximo) para monitorar o processo.

### 3.4.1 Determinação dos estoques de segurança

CHOPRA e MEINDL (2004) discutem como os estoques de segurança podem melhorar a disponibilidade de produto na presença de variabilidades na demanda e no tempo de ressuprimento.

O estoque de segurança é o inventário necessário para satisfazer a demanda que excede a quantidade prevista em um dado período. Isso se deve ao fato de que a previsão de demanda é incerta e, caso a demanda real ultrapasse a demanda prevista, haverá um déficit de produto. O estoque de segurança é o estoque existente quando um novo lote de ressuprimento chega. Vide representação na figura 8.

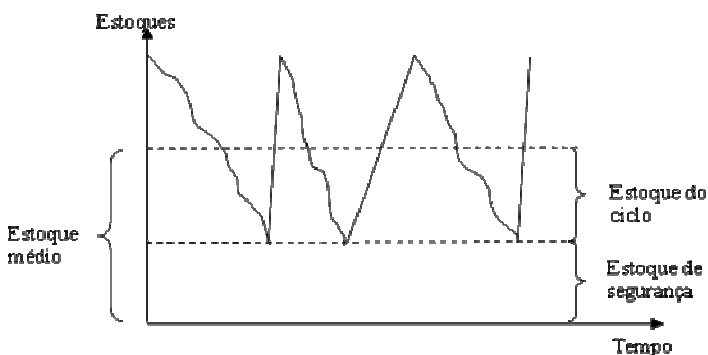


Figura 8 – Perfil da variação dos estoques com lote de ressuprimento. (Fonte: Petrobras- AB-LO/OL/OSP)

Este exemplo ilustra o balanço que o gestor de estoques deve considerar quando planeja os estoques na cadeia de suprimentos. De um lado, o aumento dos estoques de segurança aumenta a disponibilidade de produto e a margem de vendas. Por outro lado, o aumento do estoque de segurança aumenta os custos em manter estoques. A chave para o sucesso de qualquer cadeia de suprimento é compreender os mecanismos para diminuir os estoques de segurança sem prejudicar a disponibilidade de produtos. Duas questões-chaves devem estar presentes na análise do gestor de estoque:

- Qual o nível adequado de estoques de segurança a manter?
- Que ações podem ser tomadas para aumentar o nível de serviço e reduzir os estoques de segurança?

O nível adequado de estoques de segurança é determinado por:

- Incerteza da demanda;
- Nível de serviço desejado.

Uma forma de medir a incerteza da demanda é através do coeficiente de variação (cv). Este relaciona os parâmetros de média e desvio-padrão da demanda:

$$cv = \sigma / \mu \quad (1)$$

O coeficiente de variação mede o tamanho da incerteza da demanda. Quanto maior o coeficiente maior a incerteza. O coeficiente de variação mede melhor as incertezas do que o desvio-padrão isoladamente, como por exemplo: um produto com média de demanda 100 e desvio-padrão de 100 ( $cv = 1$ ) tem maior incerteza na demanda do que um produto com média de demanda de 1000 e desvio-padrão de 100 ( $cv = 0,1$ ).

O nível de serviço ou disponibilidade de produto reflete a habilidade de uma empresa em atender ao pedido de um cliente através do estoque disponível. A falta de estoque (*stockout*) ocorre quando um pedido chega e não há estoque disponível para atendê-lo. Dentre as possíveis medidas de nível de serviço, empregamos o percentual de atendimento da demanda (*fill rate*), definido como a fração da demanda que é satisfeita pelo estoque disponível. Equivale à probabilidade de que a demanda do produto seja suprida pelo estoque disponível.

Outras possíveis maneiras de medir o nível de serviço são:

- a) Percentual de atendimento dos pedidos (*order fill rate*), definido com a fração dos pedidos atendida pelo estoque disponível. A diferença em relação ao *fill rate* é percebida quando vários itens são colocados no mesmo pedido e um deles não é atendido pelo estoque disponível. A empresa terá um baixo índice de atendimento dos pedidos, mesmo tendo um atendimento de demanda por produto elevado.
- b) Nível de serviço do ciclo (*cycle service level*) definido como a fração dos ciclos de ressuprimento que terminam com todos os pedidos de clientes atendidos. O ciclo de ressuprimento é o intervalo de tempo entre dois envios de lotes sucessivos. É igual à probabilidade de não haver falta de produto em estoque em um ciclo de ressuprimento.

Assim, seja (TR) o tempo de ressuprimento médio do estoque e seja (D) a demanda média na unidade de tempo. Então a demanda esperada no tempo de ressuprimento será dada por ( $D \cdot TR$ ). Dado que o gestor de estoques solicita um novo lote quando o estoque alcança o (PR), o estoque de segurança (ES) será dado por:

$$ES = PR - D \cdot TR \quad (2)$$

### 3.4.2 Determinação do nível de serviço do ciclo dada uma política de ressuprimento

Dada uma política de revisão contínua, onde a demanda puxa a produção, um lote (Q) é pedido quando o estoque disponível alcança o ponto de ressuprimento (PR). O tempo de ressuprimento é dado por (TR) e a demanda é normalmente distribuída com média ( $\mu D$ ) e desvio - padrão ( $\sigma D$ ), na unidade de tempo. Haverá falta de produto no ciclo se a demanda durante o tempo de ressuprimento (TR) exceder o (PR). É necessário avaliar a demanda média que excede o (PR) em cada ciclo de ressuprimento.

A probabilidade de não haver falta de produto em estoque em um ciclo de ressuprimento é dada pelo nível de serviço do ciclo, NSC:

$$NSC = \text{Prob}(\text{demanda durante o } TR \leq PR)$$

Para avaliar esta probabilidade é necessário obter a distribuição da demanda durante o tempo de ressuprimento. Quando a demanda possui distribuição de probabilidade normal com média ( $\mu TR$ ) e desvio-padrão ( $\sigma TR$ ), teremos:

$$\mu TR = D \cdot TR \quad \text{e} \quad \sigma TR = \sqrt{TR} \cdot \sigma D \quad (3)$$

Neste caso, o tempo de ressuprimento TR é determinístico. Em uma abordagem probabilística, o nível de serviço do ciclo será calculado empregando a notação do Excel para uma distribuição normal de probabilidade:

$$NSC = \text{DIST. NORM}(PR, \mu TR, \sigma TR) \quad (4)$$

### 3.4.3 Determinação do atendimento da demanda dada uma política de ressuprimento

O percentual de atendimento da demanda (PAD), ou *fill rate*, mede a proporção da demanda que é atendida pelo estoque disponível. Comparando-se ao (NSC), sob o ponto de vista do cliente, este parâmetro reflete melhor a quantidade do produto que será de fato recebida. O déficit esperado por ciclo de ressuprimento (DEC) (*expected shortage per replenishment cycle*) é a demanda média que não é satisfeita pelo estoque disponível por ciclo de ressuprimento. Dado um lote (Q), a fra-

ção da demanda não atendida pelo estoque disponível é dada por (DEC / Q). O (PAD) será então calculado por:

$$\text{PAD} = 1 - \text{DEC} / Q = (Q - \text{DEC}) / Q \quad (5)$$

O déficit no ciclo de ressuprimento ocorrerá se, e somente se, a demanda durante o tempo de ressuprimento exceder o (PR). Quando a demanda possui uma distribuição de probabilidade normal, durante o tempo de ressuprimento, com média ( $\mu_{\text{TR}}$ ) e desvio-padrão ( $\sigma_{\text{TR}}$ ), dado o estoque de segurança (ES), a equação 4 pode ser escrita usando as funções do Excel como:

$$\text{DEC} = - \text{ES} * [1 - (\text{DIST.NORM} (\text{ES} / \sigma_{\text{TR}}, 0, 1, 1) + \sigma_{\text{TR}} * (\text{DIST.NORM} (\text{ES} / \sigma_{\text{TR}}, 0, 1, 0))] \quad (6)$$

Cabe ressaltar que tanto o percentual de atendimento da demanda como o nível de serviço do ciclo aumentam quando o estoque de segurança aumenta. Para um dado estoque de segurança, um aumento no tamanho do lote de reposição aumenta o percentual de atendimento da demanda, mas não o nível de serviço do ciclo.

#### 3.4.4 Avaliação do estoque de segurança requerido dado um (PAD) desejado

Dado um nível de serviço representado pelo (PAD) e seguindo uma política de revisões contínuas, o primeiro passo é determinar o déficit esperado por ciclo de ressuprimento (DEC) usando a equação 7:

$$\text{DEC} = (1 - \text{PAD}) * Q \quad (7)$$

Em seguida obter o (ES) que resolve a equação 6, empregando o (DEC) calculado acima pela equação 7. A solução é facilmente obtida usando o Excel testando diferentes valores de (ES) e usando a ferramenta ATINGIR META.

#### 3.4.5 Impacto do nível de serviço e das incertezas nos estoques de segurança

Dois são os fatores chaves que afetam o estoque de segurança e merecem destaque: o nível de serviço (disponibilidade do produto) e as incertezas.

À medida que o nível de serviço aumenta o estoque de segurança também aumenta, porque a cadeia de suprimento deve ser capaz de acomodar demandas não usuais ou atrasos não usuais no ressurgimento.

O gestor de estoques deve ter em mente que os estoques de segurança crescem rapidamente com um acréscimo no nível de serviço. Do mesmo modo, os estoques de segurança crescem com um acréscimo no tempo de ressurgimento ou no desvio-padrão da demanda. O desafio constante do gestor de estoques é reduzir os níveis de estoques de segurança sem afetar a disponibilidade do produto.

A discussão acima ressalta dois caminhos para que o gestor de estoques possa alcançar seus objetivos:

Ao reduzir o tempo de ressurgimento por um fator (k), os estoques de segurança reduzem-se por um fator de  $\sqrt{k}$ .

Ao reduzir as incertezas da demanda, representadas por ( $\sigma D$ ), por um fator (k), os estoques de segurança também se reduzem por um fator (k).

#### 3.4.6 Impacto das incertezas do tempo de ressurgimento nos estoques de segurança

Nos itens anteriores empregou-se o tempo de ressurgimento como um valor fixo. Analisemos o caso em que o tempo de ressurgimento é incerto - caso mais genérico e objeto do nosso estudo – e qual o impacto nos estoques de segurança. Considerando:

D: Demanda média por período;

$\sigma D$ : Desvio-padrão da demanda por período;

TR: Tempo médio de ressurgimento;

sTR: Desvio-padrão do tempo de ressurgimento.

Dado que a política de estoques é de revisão contínua e, dado que tanto a demanda como o tempo de ressurgimento são incertos, a demanda durante o tempo de ressurgimento é uma distribuição normal de probabilidade com média ( $\mu TR$ ) e desvio-padrão ( $\sigma TR$ ), onde:

$$\sigma TR = \sqrt{TR * \sigma D^2 + D^2 * s_{TR}^2} \quad (8)$$

Dada a distribuição de probabilidade da demanda durante o tempo de ressuprimento e o nível de serviço (PAD), os estoques de segurança podem ser determinados como descrito em 3.4.4.

O gestor de estoques deve ter em mente que a redução na incerteza do tempo de ressuprimento permite reduzir os estoques de segurança sem prejuízo da disponibilidade do produto.

“Uma simplificação prática, quando empregamos uma política de revisão contínua, permite que o gestor concentre-se na incerteza da demanda durante o tempo de ressuprimento dado que esta política permite ajustar o tempo de ressuprimento em função da demanda realizada. Se a demanda for muito alta, o estoque alcança rapidamente o ponto de ressuprimento e o envio de um novo lote é antecipado. O inverso ocorre quando a demanda é muito baixa, retardando o envio de novo lote. Tipicamente, em políticas de revisão contínua, o tamanho do lote é mantido fixo entre ciclos de ressuprimento, calculado pelo lote econômico (*economic order quantity*)” (CHOPRA e MEINDL, 2004).

#### 3.4.7 Determinação do lote econômico e nível ótimo de disponibilidade de produto

A cadeia de suprimento pode usar um nível de disponibilidade de produto elevado para melhorar seu atendimento aos pedidos, aumentar as receitas pelo aumento das vendas e conseguir novos clientes. Mas, por outro lado, “elevados níveis de serviço, necessitam de maiores estoques e, maiores estoques tendem a elevar os custos da cadeia de suprimento” (CHOPRA e MEINDL, 2004).

A cadeia de suprimento deve encontrar um balanço entre disponibilidade e custo de estoques de modo a maximizar o lucro. O nível ótimo de disponibilidade de produto deve ser aquele que maximiza a rentabilidade da cadeia.

Dois fatores-chave na determinação do nível ótimo de disponibilidade são:

O custo do excesso de estoques, denominado de ( $C_e$ ), que representa a perda incorrida pela empresa por cada unidade não vendida no período. Dada uma previsão de vendas, toda quantidade que permanece



em estoque além daquela necessária para atendimento da previsão é considerada excesso de estoque e penaliza o resultado econômico.

O custo da falta de estoques, denominado de (Cf), representa a margem perdida pela empresa, por cada venda não realizada porque não possuía estoques disponíveis. Da mesma forma, cada unidade que não foi vendida porque o estoque disponível não atendeu a previsão de demanda, penaliza o resultado econômico.

Esta consideração sobre o nível ótimo de disponibilidade só faz sentido em ambientes de incerteza na demanda.

Para determinar os custos acima mencionados é necessário calcular o excesso e a falta de estoques. Para um determinado lote (Q), dado que a demanda é normalmente distribuída com média ( $\mu$ ) e desvio-padrão ( $\sigma$ ), resultará em um excesso de estoque somente se a demanda for menor do que o lote (Q). Assim, o excesso de estoque pode ser determinado pela equação abaixo, em notação do Excel, como:

$$Oest = (Q - \mu) * \{DIST. NORM \{[(Q - \mu) / \sigma], 0, 1, 1\}\} + \sigma * \{DIST. NORM \{[(Q - \mu) / \sigma], 0, 1, 0\}\} \quad (9)$$

Da mesma maneira, a falta de estoque para um determinado lote (Q), dado que a demanda é normalmente distribuída com média ( $\mu$ ) e desvio-padrão ( $\sigma$ ), resultará em falta de estoque se, e somente se a demanda for maior do que o lote (Q). Assim, a falta esperada de estoque pode ser determinada pela equação abaixo, em notação do Excel, como:

$$Uest = (\mu - Q) * \{1 - DIST. NORM \{[(Q - \mu) / \sigma], 0, 1, 1\}\} + \sigma * \{DIST. NORM \{[(Q - \mu) / \sigma], 0, 1, 0\}\} \quad (10)$$

O nível de disponibilidade de produto que maximiza o lucro é obtido pelo lote econômico que minimiza a razão entre o custo da falta e o custo do excesso. CHOPRA e MEINDL (2004) analisam os custos gerenciais para a determinação dos lotes econômicos, considerando o custo do excesso de estoques (Ce), o custo da falta (Cf) e Razão entre estes custos, dado p o preço de venda do produto e c o custo de produção:

$$Ce = Oest * (p - c) \quad (11)$$

$$Cf = Uest * (p - c) \quad (12)$$

$$Razão = Cf / (Cf + Ce) \quad (13)$$

Os estoques médios teóricos bem como os estoques máximos teóricos serão calculados pelas relações:

$$\text{EMEDt} = \text{ES} + \text{Q}/2 \quad (14)$$

$$\text{EMAXt} = \text{ES} + \text{Q} \quad (15)$$

## **CAPÍTULO 4 – MODELO PROPOSTO**

### **4.1 Apresentação Geral do Modelo**

O modelo proposto é aplicado em oleoduto de derivados de petróleo, com fluxo unidirecional, envolvendo dois produtos: gasolina e Diesel. Apresento na figura 9, o fluxo logístico que representa a distribuição de derivados para o Centro – Oeste. O fornecedor único é a REPLAN que produz gasolina A e Diesel. Os derivados são bombeados através do OSBRA, saindo de Campinas, para os terminais localizados em Ribeirão Preto, Uberaba, Uberlândia, Goiânia e Brasília. Existem estações de recalque em Pirassununga, Uberaba, Buriti-Alegre e Goiânia para manter a pressão e a vazão do escoamento. Os terminais recebem os produtos, gasolina A e Diesel, em tanques, cujo número de tanques, e respectivas capacidades, foram dimensionados há pelo menos 15 anos, quando as previsões de expansão do mercado feitas à época foram bastante diferentes da atual pelas circunstâncias do desenvolvimento da região Centro - Oeste. Estes dois fatores, número e capacidade dos tanques, além da capacidade de recebimento (vazão de recebimento) dos terminais são limitações que afetam o lote econômico e o estoque de segurança.

As operações de recebimento dos produtos nos terminais de distribuição são feitas com base na capacidade de recebimento de cada terminal, que depende da capacidade e do número de tanques, da demanda e da vazão de operação do duto. As operações de recebimento são feitas simultaneamente em mais de um terminal, sangrando o lote respectivo do produto que estiver passando pelo terminal naquele momento, com vazão que depende da vazão da REPLAN e da vazão disponível até Goiânia. A soma das vazões de recebimento de cada terminal com a vazão disponível para Goiânia deve ser igual à vazão de saída da REPLAN. As vazões típicas de sangrias em cada terminal estão representadas nos apêndices, como reposição diária  $\text{m}^3/\text{d}$ .

As entregas são feitas para clientes externos, como descritos no capítulo 2



Figura 9: Esquema de movimentação de produtos. (Fonte: Petrobras – Transpetro)

O fluxograma da figura 9 ilustra as etapas de cálculo do modelo:

- Estabelecer o nível de serviço;
- Calcular os estoques de segurança e os lotes econômicos de reposição;
- Compatibilizar restrições e facilidades;
- Planejar as movimentações;
- Estabelecer faixas de controle de estoques;
- Monitorar o cumprimento e eficácia da política de estoques.

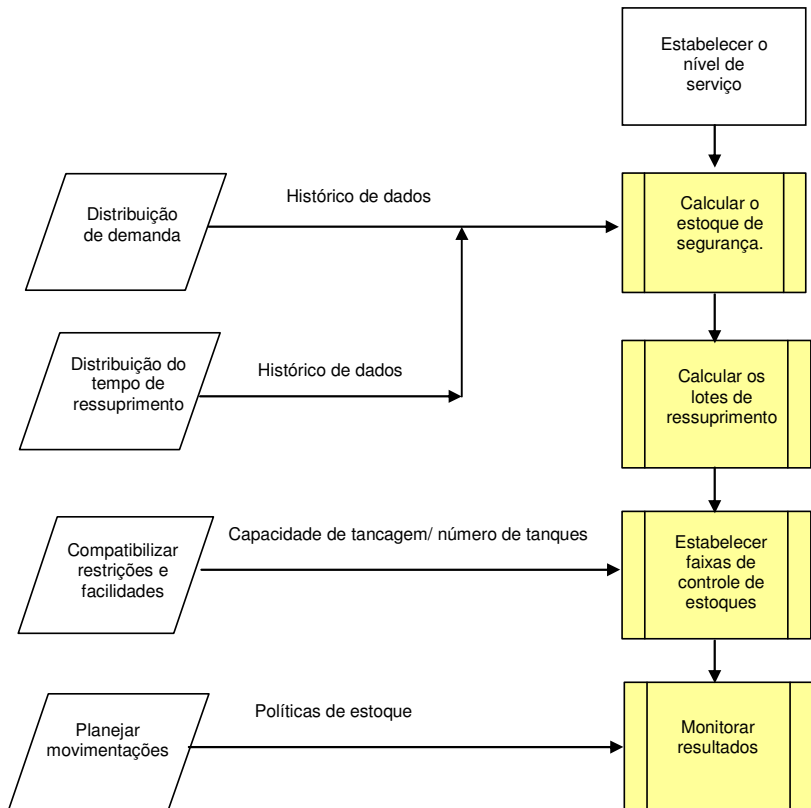


Figura 10: Fluxograma do modelo proposto para gerenciamento de estoques.  
(Fonte: Petrobras – AB-LO/OL/OSP)

## 4.2 Descrição das etapas do modelo

Para aplicar o modelo sugerido por CHOPRA e MEINDL (2004), foram consideradas as seguintes premissas:

A estimativa do tempo de ressuprimento foi feita com base no histórico das movimentações de 01/01/2005 a 31/12/2007 (36 meses). Os períodos de 2008 e 2009 foram desconsiderados em função do crescimento exacerbado da demanda em 2008, motivado pelo aquecimento da economia mundial, e pela forte retração de demanda em 2009, motivada pela recessão mundial. Os tempos de ressuprimento foram calculados pelos ciclos de ressuprimento em cada terminal, ou seja, pelo intervalo entre a de chegada de um item e outro. Determinou-se a distribuição de probabilidade, as médias e desvios-padrão respectivos.

A estimativa da demanda foi feita com base no mesmo período de 01/01/2005 a 31/12/2007 (36 meses). Determinou-se a distribuição de probabilidade, as médias e desvios-padrão respectivos, por terminal, por dia da semana que o terminal opera e por semana para verificar consistências. Todas apresentaram distribuição Normal. No modelo de cálculo foi tomada a média e o desvio-padrão da distribuição semanal.

A sazonalidade da demanda não existe para a gasolina. No caso do Diesel, embora exista, não foi considerada na modelagem por tratar-se de 25% da demanda no ano, por apresentar variações de ano para ano que não puderam ser determinadas e principalmente por razões de simplificação no cálculo do modelo.

A refinaria tem produção capaz de atender as demandas. Quando não, há movimentação de produtos de outra refinaria ou importação para atender as necessidades de suprimento.

As distribuições de probabilidade foram calculadas empregando o software ARENA e os parâmetros de média e desvio-padrão tanto pela função – ESTATÍSTICA DESCRITIVA do Excel - como pelo software ARENA.

### 4.2.1 Estabelecer o nível de serviço

O nível de serviço será definido, a priori, com base nas informações da literatura que recomendam valores de 95% ou mais para o nível de serviço ao cliente. Como as demandas têm distribuição de probabilidade normal, e, dado que, para uma distribuição normal, a probabilidade de ocorrência de uma variável aleatória tomar um valor entre dois pon-

tos quaisquer é igual à área compreendida entre esses dois pontos, tomamos a área entre dois desvios-padrão que representa 96% de probabilidade que a demanda esteja contida entre estes limites. Veja figura 11.

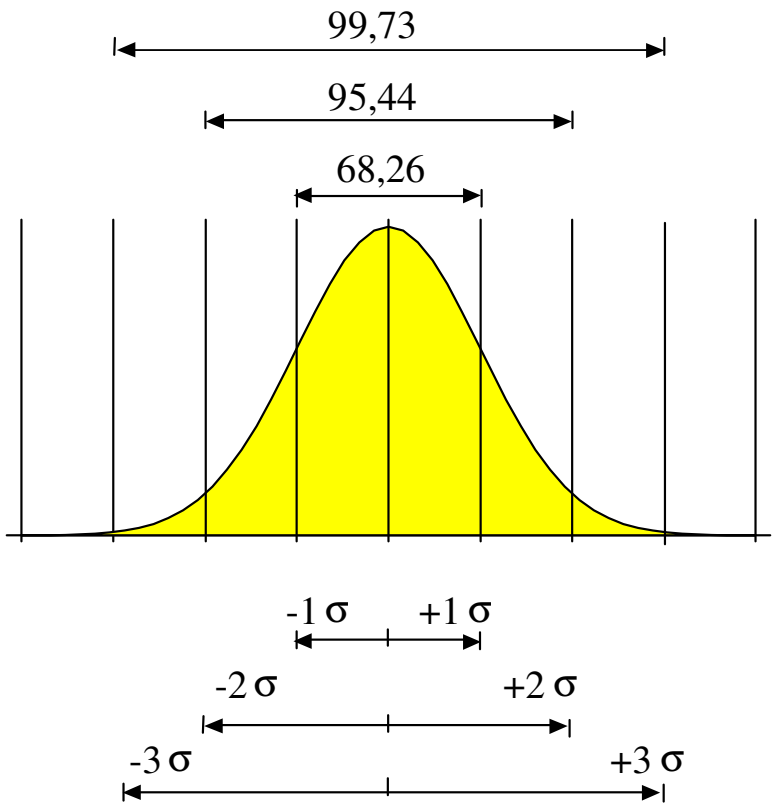


Figura 11: Probabilidade de ocorrência em uma distribuição Normal.

Como mencionado no capítulo 1, a missão da Petrobras era o pleno atendimento da demanda mesmo que fosse necessário assumir custos. Mantendo um nível de serviço elevado a prioridade continua no atendimento da demanda, sem que se deixe de controlar estoques, tamanho dos lotes e custos.

Atribuiu-se o valor de 96% para o nível de serviço que será indicado pelo (PAD), refletindo a disponibilidade de produto ao cliente.

#### 4.2.2 Calcular os estoques de segurança

Os estoques de segurança serão utilizando a função ATINGIR META do Excel.

Em primeiro lugar, calcular o déficit esperado no ciclo com base no (PAD) definido acima e empregando a equação 5.

Calcular o déficit esperado no ciclo com base em um estoque de segurança arbitrário empregando a equação 4.

Na função ATINGIR META faça:

DEFINIR CÉLULA ser igual ao valor calculado em 2;

PARA VALOR ser igual ao valor calculado em 1;

ALTERNANDO CÉLULA ser igual ao valor do estoque de segurança arbitrado.

Repetir os passos de 1 a 3 para diferentes valores de lote (Q) até que seja encontrado o lote econômico ( $Q^*$ ).

Para análise gráfica, determinação das faixas de controle de estoques e análise de sensibilidade das soluções efetua-se cálculos de estoque de segurança para diferentes tamanhos de lote e para diferentes níveis de serviço.

#### 4.2.3 Calcular os lotes de ressuprimento

Para determinar o lote econômico ( $Q^*$ ):

Arbitrar um valor para o tamanho do lote em  $m^3$ ;

Faça a diferença entre este valor e a demanda durante o tempo de ressuprimento em  $m^3$ ;

Divida o valor obtido pelo no item 2 pelo desvio padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento;

Calcular o excesso de estoque pela equação 6, em  $m^3$ ;

Calcular o custo do excesso de estoque pela equação 8, em \$;

Faça a diferença entre a demanda durante o tempo de ressuprimento e o tamanho de lote arbitrado (Q), em  $m^3$ ;

Calcular a falta de estoque pela equação 7, em  $m^3$ ;

Calcular o custo da falta de estoque pela equação 9, em \$;

Calcular a razão pela equação 10. Se este valor for superior a zero, repetir as etapas de 1 a 8.

Quando a razão der zero o lote arbitrado inicialmente passa a ser o lote econômico ( $Q^*$ ).

Para análise gráfica, determinação das faixas de controle de estoques e análise de sensibilidade das soluções efetua-se cálculos de esto-



que de segurança para diferentes tamanhos de lote e para diferentes níveis de serviço.

#### 4.2.4 Estabelecer as faixas de controle de estoques

O limite inferior da faixa de controle de estoques será o estoque de segurança. O limite superior da faixa de controle de estoques será o estoque máximo teórico (estoque de segurança + lote de ressuprimento).

Empregando a função SOLVER do Excel dentro do modelo, calcular os valores de estoque de segurança.

Calcular os estoques médios e máximos teóricos pelas equações 11 e 12. Estes dados servirão para verificar se o lote econômico e o nível de serviço arbitrado são compatíveis com as instalações físicas dos terminais – vazão de recebimento, capacidade e número de tanques existentes.

#### 4.2.5 Monitorar os resultados

Avaliar se as premissas adotadas estão adequadas, principalmente em relação ao perfil de demanda.

Reavaliar os cálculos econômicos em caso de mudança de preços.

Avaliar se os lotes econômicos são representativos da realidade.

### 4.3 Considerações

Reavaliar as simplificações do modelo, principalmente em relação à sazonalidade da demanda.

Desenvolver solução mais robusta, reduzindo as vulnerabilidades das planilhas eletrônicas.

Avaliar anualmente se o nível de serviço arbitrado está adequado à realidade do momento em relação a custos, satisfação dos clientes, operações dos terminais, necessidades de tancagem e garantia da qualidade dos produtos, através da medição da inadimplência quantitativa tanto em termos de número de ocorrências (eventos) como de quantidades (volumes) não atendidas.



## **CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO – ESTUDO DE CASO**

### **5.1 Apresentação do Setor de Aplicação do Modelo**

O modelo foi aplicado considerando as premissas e algoritmos citados no capítulo anterior e a solução gerada analisada com dados práticos da movimentação do OSBRA.

A aplicação do modelo é feita pela gerência de logística em São Paulo, responsável pelo abastecimento de derivados na área descrita no capítulo 2. A gerência de logística de São Paulo executa o plano de suprimento de curto prazo e elabora o sequenciamento das movimentações por dutos para os terminais terrestres e aquaviários. Gerencia os estoques dos terminais e acompanha a qualidade dos produtos. Acompanha a produção, os estoques e a qualidade dos produtos nas refinarias. Disponibiliza produto para atender compromissos de cabotagem e exportação de derivados e viabiliza o recebimento de exportações. O modelo será empregado no OSBRA para determinar, periodicamente, a princípio no horizonte de planejamento de dois meses, os lotes econômicos de movimentação.

### **5.2 Descrição da aplicação do modelo**

Fixou-se o nível de serviço em 96% refletido pelo cálculo do PAD ou *fill rate*.

Determinou-se no período compreendido entre 01/01/2005 e 31/12/2007 o comportamento da demanda por dia da semana em que existe entrega de produto (segunda a sexta ou segunda a sábado dependendo do produto e do terminal). Calculamos a distribuição de probabilidade empregando o software ARENA e os parâmetros de média e desvio-padrão tanto pela função ESTATÍSTICA DESCRITIVA do Excel como pelo software ARENA.

Determinaram-se os ciclos de ressuprimento em cada terminal, por produto. Calculamos a distribuição de probabilidade pelo software ARENA e os parâmetros de média e desvio-padrão tanto pela função ESTATÍSTICA DESCRITIVA do Excel como pelo software ARENA.

Determinou-se o custo de produção de cada derivado na refinaria e o preço de venda de cada derivado em cada terminal em R\$ por m<sup>3</sup>.

Determinaram-se os custos em manter estoques em cada terminal em R\$ por m³.

Determinaram-se os custos de cada pedido em R\$ por m³.

Determinou-se o lote econômico que faz com que a razão mínima entre excesso de estoques e a falta de estoques minimizem o custo total e estejam de acordo com o nível de serviço proposto.

Os principais resultados obtidos pela aplicação do modelo aparecem resumidos na tabela 3:

Tabela 2: Principais dados obtidos do modelo de gerenciamento de estoques. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

Terminal	Ribeirão Preto		Uberaba		Uberlândia		Goiânia		Brasília	
	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel
Ponto de ressuprimento (m³)	4892	10466	3967	6444	4185	11435	9139	18527	8372	10849
Estoque de segurança (m³)	2170	4626	1203	2209	1522	4759	4702	9667	3549	4296
Demanda média diária (m³/d)	827	3920	328	1129	733	3214	2141	5901	1958	2232
Cobertura do estoque de segurança (dias)	2,6	1,2	3,7	2,0	2,1	1,5	2,2	1,6	1,8	1,9
Estoque máximo teórico (m³)	9170	21626	6703	13209	7522	22759	11919	32053	17549	22296
Estoque médio teórico (m³)	5670	13126	3953	7709	4522	13759	11419	23553	10549	13296
Capacidade de tancagem (m³)	16374	22690	8070	16774	7591	22714	28980	61046	26758	28377
Déficit Esperado no Ciclo (m³)	280	680	220	442	240	720	600	1240	560	720
Tamanho dos lotes (m³)	7000	17000	5500	11000	6000	18000	15000	31000	14000	18000
Ciclos teóricos de ressuprimento por ano	37	60	19	27	38	47	45	50	44	32
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Os lotes econômicos obtidos para gasolina e Diesel totalizam 47.500 m³ e 95.000 m³, respectivamente. Estes resultados estão na mesma ordem de grandeza das movimentações médias mensais e, levando-se em conta que não se executa um gerenciamento de estoques nos mol-des propostos nesse trabalho, são válidos e consistentes com a prática. Para análise dos resultados, foram consideradas as faixas de controle dos estoques limitadas pelo estoque de segurança (mínimo) e pelo estoque máximo teórico.

Analisando os resultados por terminal, teremos:

### Ribeirão Preto

- gasolina: A tabela 1 indica que a capacidade de tancagem é muito maior do que o limite superior da faixa de controle e parece estar super dimensionada. O número de ciclos de res-suprimento anual indica não ser necessário o recebimento de

produto toda semana (37 ciclos em 52 possíveis). Como alternativa pode-se reduzir o tamanho do lote de ressuprimento e aumentar o número de ciclos de ressuprimento. O déficit esperado no ciclo é a quantidade que pode faltar durante os ciclos de ressuprimento. É consequência do nível de serviço assumido, da variabilidade da demanda e do tempo de ressuprimento. A cobertura de estoque indica que a demanda será suprida pelo estoque disponível durante 2,6 dias.

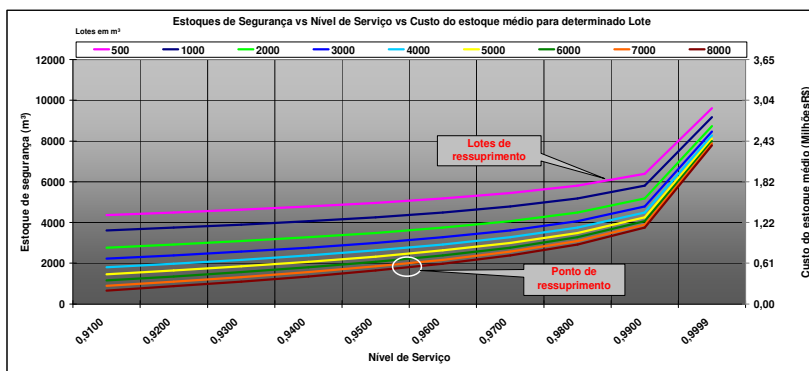


Figura 12 – Estoque de segurança de gasolina em Ribeirão Preto. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

A figura 12 indica o estoque de segurança para um dado nível de serviço e para um dado lote de ressuprimento. Observe-se que para o lote econômico de 7000 m³ e nível de serviço de 96%, o estoque de segurança será de cerca de 2000 m³. Em se reduzindo o tamanho de lote para 5000 m³ é possível aumentar o número de ciclos para 52 e manter um estoque de segurança de 2600 m³. Essa medida traz a vantagem de operar o duto de maneira mais confortável, reduzindo o déficit esperado no ciclo, mas acarretando um custo adicional de cerca de R\$ 330.000,00 por ano.

- Diesel: A tabela 1 indica que a capacidade de tancagem é muito próxima do limite superior da faixa de controle (estoque máximo teórico), indicando que a tancagem parece estar sub-dimensionada para a demanda. Uma alternativa é aumen-

tar o número de tanques de Diesel, mas implicaria em altos custos de investimento, em aumentar o custo operacional para manter mais estoques e em longos prazos de execução.

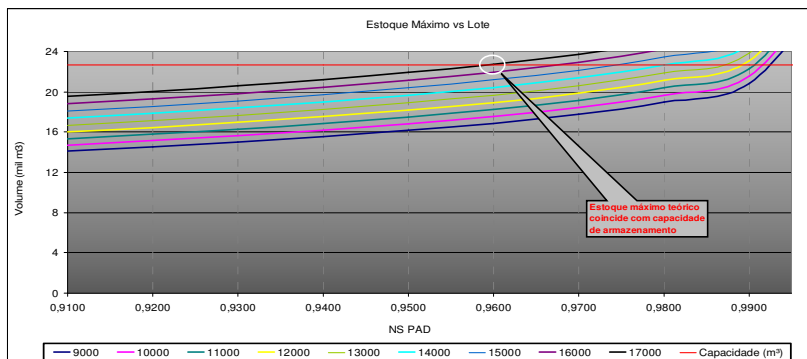


Figura 13 – Estoque máximo teórico em função do tamanho do lote de Diesel em Ribeirão Preto. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

Analisando a figura 13 acima, uma alternativa à capacidade subdimensionada seria reduzir o nível de serviço para, por exemplo, 92%, duplicando o déficit esperado no ciclo, aumentando a probabilidade de falta de produto. Reduzir o tamanho do lote para, por exemplo, 14.000 m<sup>3</sup>, implicaria em aumentar o número de ciclos de ressuprimento, aumentar os estoques de segurança e elevar os custos.

### Uberaba

- gasolina: A tabela 1 indica que o número de ciclos teóricos de ressuprimento não necessita ocorrer toda semana (19 ciclos em 52 possíveis) e que o estoque máximo está próximo da capacidade de tancagem.

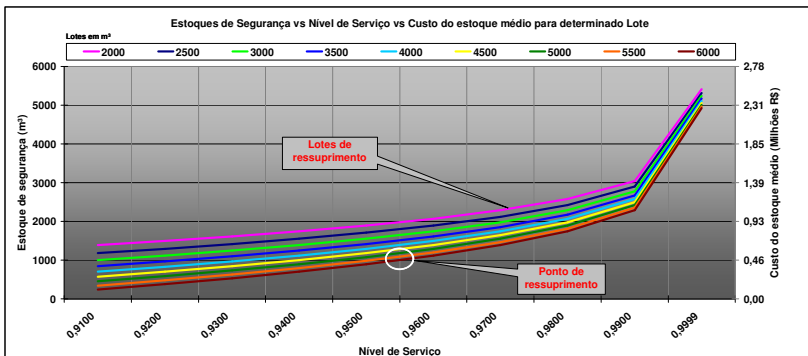


Figura 14 – Estoque de segurança de gasolina em Uberaba. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

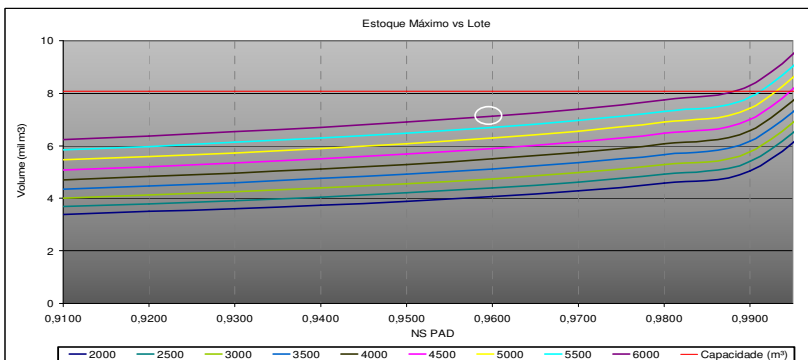


Figura 15 – Estoque máximo teórico em função do tamanho do lote de Diesel em Uberaba. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

Analisando os dados da tabela 1 em conjunto com os gráficos acima, é possível reduzir o recebimento para 2000 m³ e receber semanalmente tornando a operação do duto mais confortável. Nesse caso, o estoque mínimo sobe de 1200 m³ para 2100 m³, reduz-se o déficit esperado de 220 m³ para 80 m³, mas aumentam os custos em R\$ 600.000,00 por ano.

- Diesel: O mesmo comentário com relação aos ciclos de ressuprimento aplica-se para o Diesel. Analisando a tabela 1 e a figura 16, é possível reduzir o lote para 7000 m³, mantendo recebimento semanal de Diesel, aumentando o estoque mí-

nimo de 2200 m<sup>3</sup> para 3000 m<sup>3</sup>, diminuindo o déficit esperado e aumentando os custos em R\$ 810.000,00 por ano.

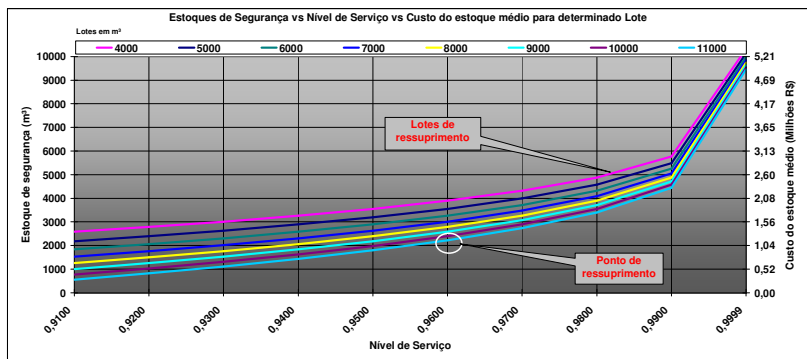


Figura 16 – Estoque de segurança de Diesel em Uberaba. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

## Uberlândia

- gasolina: A tabela 1 indica que o ressuprimento não necessita ocorrer toda semana (38 ciclos em 52 possíveis) e que o estoque máximo é igual à capacidade de tancagem. Analisando em conjunto com as figuras 17 e 18, é possível aumentar o número de ciclos e reduzir o tamanho do lote, por exemplo, para 5000 m<sup>3</sup>. Isso aumenta o estoque mínimo de 1350 m<sup>3</sup> para 1720 m<sup>3</sup>, reduz o déficit esperado e aumenta os custos em R\$390.000,00.



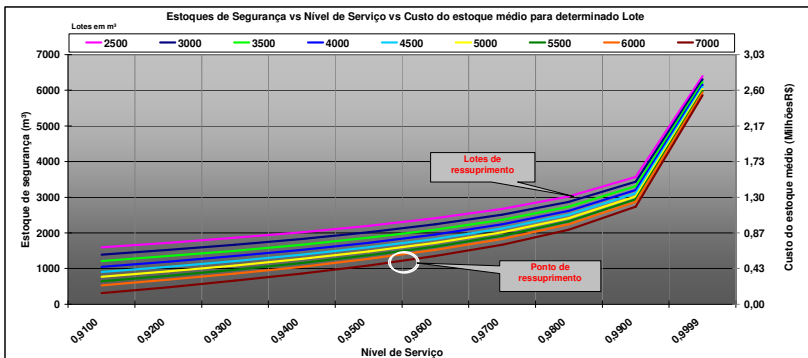


Figura 17 – Estoque de segurança de gasolina em Uberlândia. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

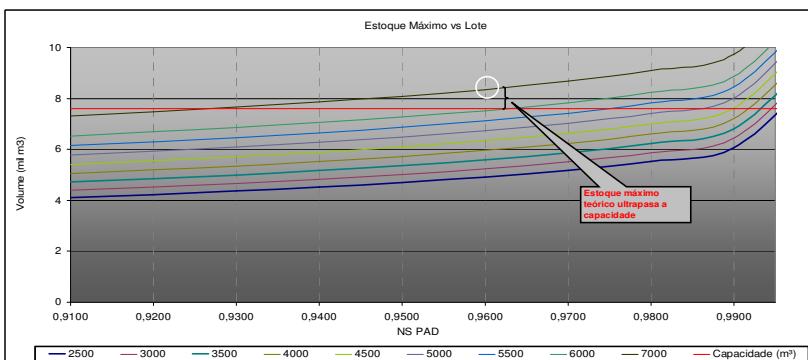


Figura 18 – Estoque máximo teórico em função do tamanho do lote de gasolina em Uberlândia. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

- Diesel: O mesmo comentário aplica-se para o Diesel. Analisando a tabela 1 em conjunto com as figuras 19 e 20, é possível reduzir o lote para 15000 m³, mantendo recebimento semanal de Diesel, aumentando o estoque mínimo de 5000 m³ para 5400 m³, diminuindo o déficit esperado e aumentando os custos em R\$ 400.000,00 por ano.

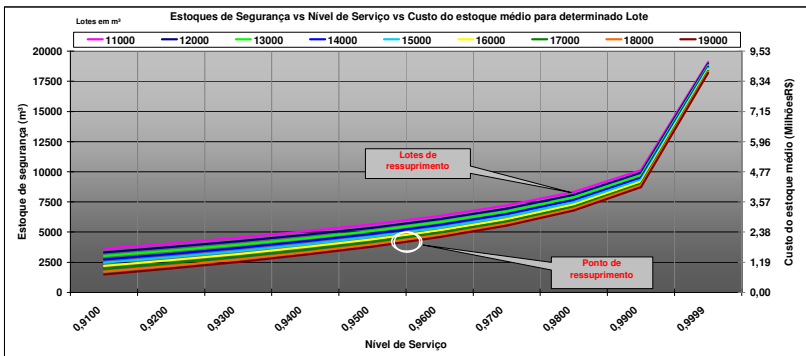


Figura 19 – Estoque de segurança de Diesel em Uberlândia. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

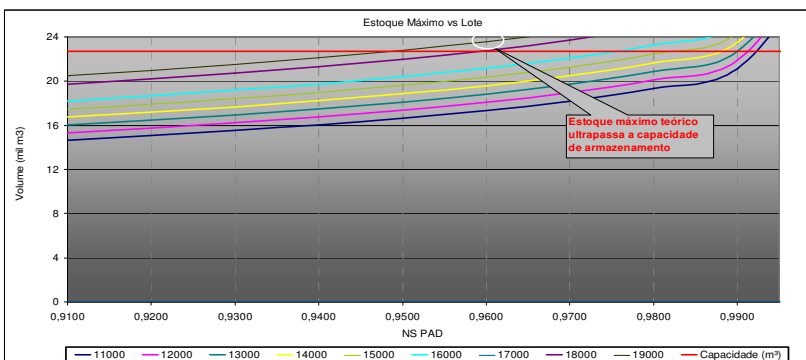


Figura 20 – Estoque máximo teórico em função do tamanho do lote de Diesel em Uberlândia. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

## Goiânia

- Pela análise da tabela 1, o terminal está sendo abastecido adequadamente tanto para gasolina como para Diesel.

## Brasília

- gasolina: A análise da tabela 1 indica que o terminal está sendo abastecido adequadamente de gasolina.
- Diesel: Analisando a tabela 1 em conjunto com as figuras 21 e 22, é possível reduzir o lote para 13000 m³, passando a receber com frequência semanal, aumentando o estoque míni-

mo de 4300 m<sup>3</sup> para 5300 m<sup>3</sup>, diminuindo o déficit esperado e aumentando os custos em R\$ 1.000.000,00 por ano.

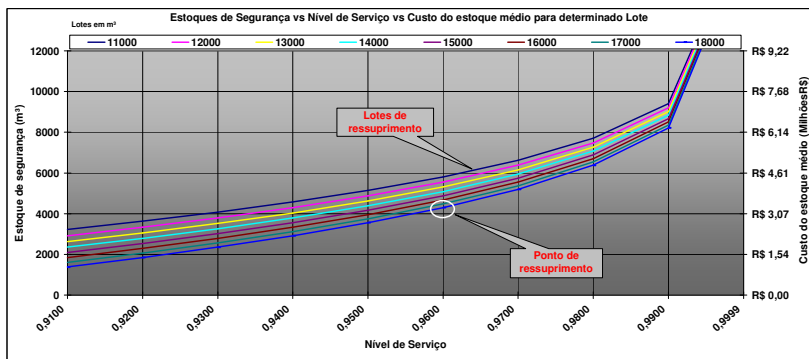


Figura 21 – Estoque de segurança de Diesel em Brasília. (Fonte: Petrobras AB-LO/OL/OSP)

A análise dos custos é gerencial e não contábil. Nessa análise foram considerados os custos potencialmente mais importantes para uma decisão gerencial, uma vez que a determinação dos custos nem sempre é tarefa simples e o tempo despendido não se justificaria dada a magnitude dos mesmos. O custo total dos estoques representado pelo custo do pedido, pelo custo de oportunidade de capital, pelo custo da falta de produto para entrega e pelo custo de movimentação, armazenagem e manuseio representa R\$73 milhões por ciclo de ressuprimento, ou R\$3,2 bilhões por ano. Nessa análise foram considerados os custos potencialmente mais importantes para uma decisão gerencial, não sendo, portanto, uma análise contábil. Destes custos, 78% referem-se ao custo de oportunidade de capital – lote multiplicado pelo custo do produto, aplicado a uma taxa de atratividade.

Nosso modelo não leva em conta restrições ao recebimento do produto. Ou seja, o terminal ou depósito não tem capacidade infinita de recebimento do lote no tempo. Nesse caso, dado que os tamanhos de lotes de cada sangria são grandes, os derivados de petróleo estão sujeitos a vazões de recebimento variáveis com o tempo, influenciando não o tempo de chegada, mas a quantidade recebida. No cálculo dos desvios, além da variabilidade da demanda e do tempo de ressuprimento, deveria haver uma parcela referente à média e desvio-padrão da capacidade de recebimento. Empregamos uma vazão média de recebimento por dia.

### 5.3 Avaliação do modelo

O modelo é simples e apresentou bons resultados. Uma vez conhecidos dados de demanda e de tempo de ressuprimento pode ser reavaliado com simplicidade. Os estoques de segurança e os lotes calculados estão muito próximos dos valores empregados na prática. Apresenta como vantagem a possibilidade de emprego das funcionalidades do Excel, com extrema simplicidade e rapidez, para auxiliar as decisões no gerenciamento de estoques. As simplificações na vazão de recebimento, na sazonalidade da demanda de Diesel, bem como a simplificação nos cálculos dos custos, não comprometeram o modelo e podem ser incluídos se necessário.

O fato de ter sido empregado um grande número de dados favoreceu o emprego do modelo, pois todas as distribuições de probabilidade de demanda eram normais. Caso não fossem seria preciso consultar outra fonte como o artigo de EPPEN e MARTIN (1988).

A análise dos custos é gerencial e não contábil. Nessa análise foram considerados os custos potencialmente mais importantes para uma decisão gerencial, uma vez que a determinação dos custos nem sempre é tarefa simples e o tempo despendido não se justificaria dada a magnitude dos mesmos. O custo total dos estoques representado pelo custo do pedido, pelo custo de oportunidade de capital, pelo custo da falta de produto para entrega e pelo custo de movimentação, armazenagem e manuseio representa R\$73 milhões por ciclo de ressuprimento, ou R\$3,2 bilhões por ano. Nessa análise foram considerados os custos potencialmente mais importantes para uma decisão gerencial, não sendo, portanto, uma análise contábil. Destes custos, 78% referem-se ao custo de oportunidade de capital – lote multiplicado pelo custo do produto, aplicado a uma taxa de atratividade.

O modelo não leva em conta restrições ao recebimento do produto. Ou seja, o terminal ou depósito não tem capacidade infinita de recebimento do lote no tempo. Nesse caso, dado que os tamanhos de lotes de cada sangria são grandes, os derivados de petróleo estão sujeitos a vazões de recebimento variáveis com o tempo, influenciando não o tempo de chegada, mas a quantidade recebida. No cálculo dos desvios, além da variabilidade da demanda e do tempo de ressuprimento, deveria haver uma parcela referente à média e desvio-padrão da capacidade de recebimento. Empregamos uma vazão média de recebimento por dia.

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação do modelo sugerido por CHOPRA e MEINDL (2004), foi feita no oleoduto que liga a refinaria do planalto (REPLAN) à Brasília. Os objetivos de determinar um modelo de gerenciamento de estoques que determine os estoques de segurança e os lotes econômicos de gasolina e Diesel foi plenamente alcançado. Os lotes encontrados são muito próximos dos valores usados na prática e os estoques de segurança precisam ser testados quanto a sua confiabilidade. Os estoques de segurança são quantidades não controladas até o momento e é preciso verificar se os números propostos pelo modelo poderão ser efetivamente empregados na prática.

### 6.1 Conclusões

Os resultados obtidos buscam incorporar novos conceitos à empresa quanto a:

- estabelecer um nível de serviço no atendimento à demanda e seu monitoramento;
- estabelecer lotes econômicos e estoques de segurança compatíveis com os níveis de serviço adotados e com base em critérios econômicos de decisão;
- gerenciar os estoques e o nível de serviço.

Os estoques de segurança calculados permitem balancear as quantidades estocadas às demandas dos terminais. Ou seja, em alguns terminais os estoques de Diesel calculados são menores do que os encontrados na prática, por outro lado, no mesmo terminal, os estoques de gasolina calculados aumentaram em relação aos valores encontrados na prática. Dessa forma, o modelo busca aperfeiçoar os estoques de cada produto em cada terminal, em função da demanda, do tempo de ressuprimento, do nível de serviço e do tamanho dos lotes econômicos, não simplesmente reduzir os estoques.

A otimização dos volumes mantidos em estoque permite uma economia de 3,7 milhões de reais por ano, mantendo-se um nível de serviço de 96% em todos os terminais, para ambos os produtos.

Os lotes de gasolina e Diesel foram determinados como sendo: 47.500 m<sup>3</sup> e 95.000 m<sup>3</sup>, respectivamente, para serem bombeados sema-

nalmente. Desta forma os lotes de recebimento seriam como listados abaixo:

Terminal	Ribeirão Preto		Uberaba		Uberlândia		Goânia		Brasília	
Tamanho dos lotes (m²)	7000	17000	5500	11000	6000	18000	15000	31000	14000	18000
Ciclos teóricos de ressuprimento por ano	37	60	19	27	38	47	45	50	44	32

## 6.2 Recomendações

Fazer novas avaliações com o modelo incluindo a sazonalidade da demanda e encontrando valores ótimos para cada período do ano e respectiva demanda.

Verificar a aplicabilidade do modelo para demandas variáveis com os dias da semana e o tamanho dos lotes de ressuprimento.

Reavaliar os critérios usados para gerenciamento de custos e sua aplicabilidade.

## 6.3 Sugestões para novos trabalhos

Como sugestão para futuros trabalhos que poderiam dar continuidade ou aprimorar a idéia desenvolvida, sugiro:

- analisar a importância da variabilidade da capacidade de recebimento do terminal na determinação do lote econômico. Em um sistema de movimentação de grãos líquidos, como a capacidade de recebimento pode influenciar o tamanho do lote e os estoques de segurança.

- analisar a validade da análise econômica empregada, considerando os principais custos gerenciais para tomada de decisão e, eventualmente, outras formas de avaliar os custos.

- verificar a aplicabilidade de modelos mais robustos tais como modelos de programação linear e ou programação linear inteira, e a agilidade na obtenção de respostas.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4.ed. Porto Alegre:Bookman, 2001.
- 2) BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: transportes administração de materiais distribuição física**. 1.ed. São Paulo: Atlas, 1993.
- 3) CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- 4) LIMA, M. P. **Estoque: Custo de oportunidade e impacto sobre os indicadores financeiros**. Instituto COPPEAD de Administração, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: < [www.coppead.ufrj.br](http://www.coppead.ufrj.br)>.
- 5) NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 1.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- 6) WILD, T. **Best Practice in Inventory Management**. 1.ed. New York: John Wiley and Sons, 1997.
- 7) WANKE, P **Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimentos**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- 8) CHOPRA, S; MEINDL, P. **Supply Chain Management: strategy, planning and operation**. 2.ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.
- 9) GARCIA, E.S.; dos REIS, L. M. T. V.; MACHADO, L. R.; FERREIRA FILHO, V. J. M. **Gestão de Estoques: otimizando a logística e a cadeia de suprimentos**. 1.ed. Rio de Janeiro: e – Papers, 2006.
- 10) EPPEN, G. D.; MARTIN, R. K. Determining safety stock in the presence of stochastic lead time and demand. **Management Science**, 34, 11, nov. 1988, ABI/INFORM Global p.1380.
- 11) PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. **Manual Geral do Sistema de Garantia da Qualidade do Querosene de Aviação**. Rio de Janeiro, 2000, p.40-41.
- 12) PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.. **Manual Geral do Sistema de Garantia da Qualidade da gasolina Automotiva**. Rio de Janeiro, 2001, p.29.

- 13) PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.. Manual **Geral do Sistema de Garantia da Qualidade do Óleo Diesel**. Rio de Janeiro, 2001, p.33.
- 14) CHOPRA, S.; REINHARDT, G.; DADA, M.. The Effect of Lead Time Uncertainty on Safety Stocks. **Decision Sciences**, 35, 1, winter 2004, ABI/INFORM Global p.1
- 15) LEE, H. L.; BILLINGTON, C.. Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities. Sloan Management Review, 33, 3, spring 1992, ABI/INFORM Global P.65.
- 16) HERON, D. P. Inventory management for minimum cost. **Management Science**, v.14, n.4, p. B-219-B-235, dec. 1967.
- 17) WANKE, P; SALIBY, E. **Proposta para a Gestão de Estoques de Novos Produtos: Solução do Modelo (Q,R), para a distribuição uniforme de Demanda e do Lead-Time de Suprimento**. Instituto COPPEAD de Administração, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <[www.coppead.ufrj.br](http://www.coppead.ufrj.br)>.
- 18) BOLSTORFF, P.; Measuring the impact of supply chain performance. **Logistics Today**, dec. 2003, ABI/INFORM Global p.6.
- 19) BEAMON, B.S.; Supply chain design and analysis: Models and methods. **International Journal of Production Economics**, 55, p. 281 – 294, 1998.
- 20) DZIELISNKI, B.P.; BAKER, C.T.; MANNE, A.S.; Simulation tests of lot size programming. **Management Science**, 9, 2, jan. 1963, ABI/INFORM Global p.229.
- 21) TEMPLEMEIER, H; Practical considerations in the optimization of flow production systems. **International Journal of Production Research**, v.41, n.1, p. 149 – 170, 2003.

**APENDICE A – Resultados das simulações em Ribeirão Preto**

Determinação dos estoques de segurança e dos lotes de ressuprimento de gasolina em Ribeirão Preto								
Variáveis aleatórias	Segundas	Terças	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	1274	1129	1120	1013	1176	679	827	4960
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	229	288	277	302	233	77	156	934
Tempo médio de ressuprimento (d)	3,29	3,29	3,29	3,29	3,29	3,29	3,29	3,29
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	4196,20	3719,24	3687,81	3335,60	3874,26	2234,91	2722,51	16335,03
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	3928,16	3501,52	3469,46	3153,10	3631,17	2085,12	2550,04	15300,21
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,18	0,26	0,25	0,30	0,20	0,11	0,19	0,19
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal
Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)								
Q*								
Percentagem de pedidos	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
O - $\mu$	-1,723	-723	277	1,277	2,277	3,277	4,277	5,277
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	-0,68	-0,28	0,11	0,50	0,89	1,29	1,68	2,07
Oest	380	697	1162	1781	2537	3397	4327	5295
$\mu$ - O	1723	723	-277	-1277	-2277	-3277	-4277	-5277
Uest	2102,220763	1419,13193	884,5869847	503,6243349	259,3468831	119,7805602	49,26182845	17,93336046
C Oest	R\$ 229.982,35	R\$ 421.925,93	R\$ 703.838,10	R\$ 1.078.770,45	R\$ 1.536.488,92	R\$ 2.057.627,79	R\$ 2.620.586,71	R\$ 3.207.281,99
C Uest	R\$ 1.273.252,05	R\$ 859.525,64	R\$ 535.767,80	R\$ 305.030,15	R\$ 157.078,63	R\$ 72.547,49	R\$ 29.836,41	R\$ 10.861,70
Ratio	R\$ 0,85	R\$ 0,67	R\$ 0,43	R\$ 0,22	R\$ 0,09	R\$ 0,03	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	7217	6471	5998	5642	5353	5107	4892	4700
Estoque de segurança (m³)	4494	3748	3275	2920	2630	2385	2170	1978
Estoque máximo teórico (m³)	5494	5749	6275	6920	7630	8385	9170	9978
Estoque médio teórico (m³)	4994	4748	4775	4920	5130	5385	5670	5978
Capacidade (m³)	16374							
ESC (m³)	40	80	120	160	200	240	280	320
ESCC (m³)	40	80	120	160	200	240	280	320
Tamanho das bateledas (m³)	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)	6697	Custo unitário do pedido (R\$/m³)	R\$ 68,00
		Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)	R\$ 484,16
		Custo unitário da falta (R\$/m³)	R\$ 43,44
		Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)	R\$ 14,95

Es	Q*	Emédio	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armaz.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
5175	500	5425	R\$ 368.916,75	R\$ 2.626.688,44	R\$ 235.672,70	R\$ 81.107,43	R\$ 3.312.385,32	79,30
4494	1000	4994	R\$ 339.593,67	R\$ 2.417.908,06	R\$ 216.940,43	R\$ 74.660,67	R\$ 3.049.102,83	79,30
3748	2000	4748	R\$ 322.896,77	R\$ 2.299.026,08	R\$ 206.274,06	R\$ 70.989,81	R\$ 2.899.186,71	79,30
3275	3000	4775	R\$ 324.719,56	R\$ 2.312.004,35	R\$ 207.438,50	R\$ 71.390,55	R\$ 2.915.552,96	79,30
2920	4000	4920	R\$ 334.528,22	R\$ 2.381.842,03	R\$ 213.704,50	R\$ 73.547,01	R\$ 3.003.621,77	79,30
2630	5000	5130	R\$ 348.871,84	R\$ 2.483.968,64	R\$ 222.867,54	R\$ 76.700,50	R\$ 3.132.408,52	79,30
2385	6000	5385	R\$ 366.164,91	R\$ 2.607.095,37	R\$ 233.914,76	R\$ 80.502,43	R\$ 3.287.677,48	79,30
2170	7000	5670	R\$ 385.540,67	R\$ 2.745.050,84	R\$ 246.292,45	R\$ 84.762,25	R\$ 3.461.646,22	79,30
1978	8000	5978	R\$ 406.470,99	R\$ 2.894.074,73	R\$ 259.663,23	R\$ 89.363,84	R\$ 3.649.572,78	79,30

# **Determinação dos estoques de segurança e dos níveis de ressuprimento de Diesel em Ribeiro Preto**

Variáveis aleatórias	Segundas	Terças	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	4488	4222	4089	3911	4313		3920	19999
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	936	1026	1091	1215	975		974	4871
Tempo médio de ressuprimento (d)	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49		1,49	1,49
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43		1,43	1,43
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	6691,33	6290,39	6093,18	5827,56	6425,66		5840,52	29202,58
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	6527,69	6165,60	5997,67	5786,22	6280,77		5730,10	28650,49
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,21	0,24	0,27	0,31	0,23		0,25	0,25
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96		0,96	0,96
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal
<b>Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)</b>								
<b>Q*</b>								
<b>Intervalos de escolha</b>	<b>10000</b>	<b>11000</b>	<b>12000</b>	<b>13000</b>	<b>14000</b>	<b>15000</b>	<b>16000</b>	<b>17000</b>
O - $\mu$	4.159	5.159	6.159	7.159	8.159	9.159	10.159	11.159
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	0,73	0,90	1,07	1,25	1,42	1,60	1,77	1,95
Oest	4943	5735	6573	7450	8359	9293	10247	11215
$\mu$ - O	-4159	-5159	-6159	-7159	-8159	-9159	-10159	-11159
Uest	793.39809	575.0392921	413.0770081	290.1993521	199.2640144	133.65468	87.52613768	55.93497871
C Oest	R\$ 3.092.711,53	R\$ 3.588.033,52	R\$ 4.112.385,33	R\$ 4.661.192,01	R\$ 5.229.984,68	R\$ 5.814.623,58	R\$ 6.411.451,41	R\$ 7.017.375,14
C Uest	R\$ 490.164,35	R\$ 359.796,33	R\$ 258.458,15	R\$ 181.574,83	R\$ 124.677,50	R\$ 83.626,40	R\$ 54.764,23	R\$ 34.997,96
Ratio	R\$ 0,14	R\$ 0,09	R\$ 0,06	R\$ 0,04	R\$ 0,02	R\$ 0,01	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	12094	11814	11554	11311	11083	10867	10662	10466
Estoque de segurança (m³)	6253	5974	5714	5471	5242	5026	4821	4626
Estoque máximo teórico (m³)	16253	16974	17714	18471	19242	20026	20821	21626
Estoque médio teórico (m³)	11253	11474	11714	11971	12242	12526	12821	13126
Capacidade (m³)	22690							
ESC (m³)	400	440	480	520	560	600	640	680
ESCC (m³)	400	440	480	520	560	600	640	680
Tamanho das bateladas (m³)	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)	7102	Custo unitário do pedido (R\$/m³)	R\$ 68,00
		Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)	R\$ 533,13
		Custo unitário da falta (R\$/m³)	R\$ 46,18
		Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)	R\$ 14,95

Es	Q*	Emédio	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armaz.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00		R\$ 0,00	
7888	9000	12388	R\$ 842.361,25	R\$ 6.604.206,41	R\$ 572.111,94	R\$ 185.195,60	R\$ 8.203.875,21	76,92
7550	10000	12550	R\$ 853.413,81	R\$ 6.690.859,70	R\$ 579.618,58	R\$ 187.625,54	R\$ 8.311.517,63	76,92
7239	11000	12739	R\$ 866.273,73	R\$ 6.791.682,86	R\$ 588.352,73	R\$ 190.452,83	R\$ 8.436.762,14	76,92
6951	12000	12951	R\$ 880.643,13	R\$ 6.904.340,56	R\$ 598.112,09	R\$ 193.611,98	R\$ 8.576.707,76	76,92
6681	13000	13181	R\$ 896.293,46	R\$ 7.027.040,97	R\$ 608.741,43	R\$ 197.052,75	R\$ 8.729.128,62	76,92
6427	14000	13427	R\$ 913.045,39	R\$ 7.158.377,90	R\$ 620.118,94	R\$ 200.735,71	R\$ 8.892.277,94	76,92
6168	15000	13688	R\$ 930.755,43	R\$ 7.297.226,65	R\$ 632.147,19	R\$ 204.629,32	R\$ 9.064.758,59	76,92
5960	16000	13960	R\$ 949.306,99	R\$ 7.442.672,92	R\$ 644.746,97	R\$ 208.707,93	R\$ 9.245.434,81	76,92
5744	17000	14244	R\$ 968.603,91	R\$ 7.593.962,96	R\$ 657.852,99	R\$ 212.950,42	R\$ 9.433.370,28	76,92

**APENDICE B – Resultados das simulações em Uberaba**

Determinação dos estoques de segurança e dos lotes de ressuprimento de gasolina em Uberaba								
Variáveis aleatórias	Segundas	Terças	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	345	348	370	417	554	186	328	1967
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	66	64	81	80	88	85	44	267
Tempo médio de ressuprimento (d)	8,43	8,43	8,43	8,43	8,43	8,43	8,43	8,43
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	2936,54	2933,24	3115,36	3511,98	4670,79	1564,52	2763,35	16580,09
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	1743,55	1741,15	1853,45	2085,82	2768,46	955,71	1635,97	9815,83
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,19	0,18	0,22	0,19	0,16	0,46	0,14	0,14
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma
Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)								
Q*								
Reposições ao pedido	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
O - $\mu$	263	237	737	1.237	1.737	2.237	2.737	3.237
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	-0,16	0,14	0,45	0,76	1,06	1,37	1,67	1,98
Oest	529	778	1086	1449	1858	2301	2769	3251
$\mu$ - O	263	-237	-737	-1237	-1737	-2237	-2737	-3237
Uest	792.7701157	541.1489879	349.4018227	212.4018599	121.0628436	64.45945764	31.95931608	14.71431025
C Oest	R\$ 333.477,90	R\$ 489.929,27	R\$ 684.094,65	R\$ 912.744,74	R\$ 1.170.156,08	R\$ 1.449.447,30	R\$ 1.743.920,79	R\$ 2.048.003,33
C Uest	R\$ 499.357,97	R\$ 340.864,34	R\$ 220.084,71	R\$ 133.789,81	R\$ 76.256,15	R\$ 40.602,37	R\$ 20.130,85	R\$ 9.268,40
Ratio	R\$ 0,60	R\$ 0,41	R\$ 0,24	R\$ 0,13	R\$ 0,06	R\$ 0,03	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	4658	4507	4378	4259	4153	4056	3967	3883
Estoque de segurança (m³)	1894	1744	1613	1496	1390	1293	1203	1120
Estoque máximo teórico (m³)	4394	4744	5113	5496	5890	6293	6703	7120
Estoque médio teórico (m³)	3144	3244	3363	3496	3640	3793	3953	4120
Capacidade (m³)	8070							
ESC (m³)	100	120	140	160	180	200	220	240
ESCC (m³)	100	120	140	160	180	200	220	240
Tamanho das bateladas (m³)	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)	3804	Custo unitário do pedido (R\$/m³)	R\$ 68,00
		Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)	R\$ 533,13
		Custo unitário da falta (R\$/m³)	R\$ 45,82
		Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)	R\$ 27,11

Es	Q*	Emédio	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armazen.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
2071	2000	3071	R\$ 208.858,28	R\$ 1.637.472,27	R\$ 140.733,62	R\$ 83.266,88	R\$ 2.070.331,05	79,09
1894	2500	3144	R\$ 213.808,41	R\$ 1.676.281,86	R\$ 144.069,14	R\$ 85.240,38	R\$ 2.119.399,80	79,09
1744	3000	3244	R\$ 220.595,18	R\$ 1.729.490,85	R\$ 148.642,22	R\$ 87.946,11	R\$ 2.186.674,35	79,09
1613	3500	3363	R\$ 228.678,00	R\$ 1.792.861,07	R\$ 154.088,62	R\$ 91.168,54	R\$ 2.266.796,22	79,09
1496	4000	3496	R\$ 237.727,75	R\$ 1.863.812,17	R\$ 160.186,55	R\$ 94.776,46	R\$ 2.356.502,94	79,09
1390	4500	3640	R\$ 247.526,48	R\$ 1.940.650,99	R\$ 166.790,52	R\$ 98.683,78	R\$ 2.453.653,77	79,09
1293	5000	3793	R\$ 257.930,47	R\$ 2.022.203,74	R\$ 173.799,62	R\$ 102.830,81	R\$ 2.556.764,64	79,09
1203	5500	3953	R\$ 268.825,46	R\$ 2.107.621,66	R\$ 181.140,92	R\$ 107.174,39	R\$ 2.664.762,43	79,09
1120	6000	4120	R\$ 280.132,51	R\$ 2.196.270,23	R\$ 188.759,88	R\$ 111.682,24	R\$ 2.776.844,87	79,09

Determinação dos estoques de segurança e dos lotes de ressuprimento de Diesel em Uberlândia								
Variáveis aleatórias	Segundas	Tercas	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	1153	1082	1084	1144	1489		1129	5647
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	251	242	233	228	270		215	1077
Tempo médio de ressuprimento (d)	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75		3,75	3,75
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75		2,75	2,75
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	4325,94	4059,27	4064,96	4289,18	5586,27		4235,70	21178,52
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	3203,60	3007,96	3009,57	3170,40	4122,20		3128,34	15641,68
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,22	0,22	0,22	0,20	0,18		0,19	0,19
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73		0,73	0,73
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal		Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial		Exponencial	Exponencial
	Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)							
	Q*							
Posicionamento do pedido	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000
O - $\mu$	-236	764	1.764	2.764	3.764	4.764	5.764	6.764
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	-0,08	0,24	0,56	0,88	1,20	1,52	1,84	2,16
Oest	1134	1667	2324	3088	3939	4851	5804	6781
$\mu$ - O	236	-764	-1.764	-2.764	-3.764	-4.764	-5.764	-6.764
Uest	1369,417797	902,9397993	559,2558614	323,7192046	174,3260354	86,99063994	40,08809724	17,01060652
C Oest	R\$ 714.115,17	R\$ 1.050.175,35	R\$ 1.463.582,27	R\$ 1.945.110,09	R\$ 2.480.898,82	R\$ 3.055.777,13	R\$ 3.656.123,69	R\$ 4.271.477,41
C Uest	R\$ 862.582,58	R\$ 568.752,75	R\$ 352.269,67	R\$ 203.907,49	R\$ 109.806,23	R\$ 54.794,53	R\$ 25.251,09	R\$ 10.714,81
Ratio	0,55	0,35	0,19	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	8116	7775	7486	7234	7009	6805	6618	6444
Estoque de segurança (m³)	3880	3540	3251	2998	2773	2569	2382	2209
Estoque máximo teórico (m³)	7890	8540	9251	9998	10773	11569	12382	13209
Estoque médio teórico (m³)	5880	6040	6251	6498	6773	7069	7382	7709
Capacidade (m³)	16774							
ESC (m³)	161	202	242	282	322	362	402	442
ESCC (m³)	160	200	240	280	320	360	400	440
Tamanho das baletadas (m³)	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)		3832	Custo unitário do pedido (R\$/m³)		R\$ 68,00			
			Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)		R\$ 533,13			
			Custo unitário da falta (R\$/m³)		R\$ 46,35			
			Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)		R\$ 27,11			
Es	Q*	Emédio	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armaz.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
3894	4000	5894	R\$ 400.788,97	R\$ 3.142.230,31	R\$ 273.196,62	R\$ 159.785,13	R\$ 3.976.001,03	76,92
3552	5000	6052	R\$ 411.563,05	R\$ 3.226.700,36	R\$ 280.540,75	R\$ 164.080,51	R\$ 4.082.884,66	76,92
3263	6000	6263	R\$ 425.867,85	R\$ 3.338.851,55	R\$ 290.291,57	R\$ 169.783,49	R\$ 4.224.794,45	76,92
3010	7000	6510	R\$ 442.664,47	R\$ 3.470.538,91	R\$ 301.740,93	R\$ 176.479,91	R\$ 4.391.424,22	76,92
2784	8000	6784	R\$ 461.320,31	R\$ 3.616.802,79	R\$ 314.457,63	R\$ 183.917,55	R\$ 4.576.498,28	76,92
2580	9000	7080	R\$ 481.420,22	R\$ 3.774.388,35	R\$ 328.158,68	R\$ 191.930,91	R\$ 4.775.898,16	76,92
2392	10000	7392	R\$ 502.676,38	R\$ 3.941.038,98	R\$ 342.647,87	R\$ 200.405,24	R\$ 4.986.768,47	76,92
2219	11000	7719	R\$ 524.880,63	R\$ 4.115.122,78	R\$ 357.783,33	R\$ 209.257,56	R\$ 5.207.044,30	76,92

**APENDICE C – Resultados das simulações em Uberlândia**

Determinação dos estoques de segurança e dos tempos de ressuprimento de gasolina em Uberlândia								
Variáveis aleatórias	Segundas	Terças	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	1002	780	792	866	1104	304	733	4397
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	186	187	192	208	186	217	81	487
Tempo médio de ressuprimento (d)	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	3641,27	2835,24	2877,17	3147,06	4011,37	1105,66	2662,61	15975,64
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	2670,27	2091,49	2123,24	2321,47	2937,14	903,59	1941,52	11649,14
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,19	0,24	0,24	0,24	0,17	0,71	0,11	0,11
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal	Log Normal
Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)								
Q*								
Reposições por pedido	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	7000
O - $\mu$	337	837	1.337	1.837	2.337	2.837	3.337	4.337
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	0,17	0,43	0,69	0,95	1,20	1,46	1,72	2,23
Oest	955	1264	1620	2016	2445	2899	3371	4346
$\mu$ - O	-337	-837	-1337	-1837	-2337	-2837	-3337	-4337
Uest	617,525278	426,806569	282,6857394	178,9675602	108,0566002	62,09388222	33,89947977	8,608902644
C Oest	R\$ 584.763,10	R\$ 774.157,74	R\$ 992.087,41	R\$ 1.234.756,51	R\$ 1.497.519,77	R\$ 1.775.558,59	R\$ 2.064.477,56	R\$ 2.661.360,99
C Uest	R\$ 378.153,95	R\$ 261.363,59	R\$ 173.108,27	R\$ 109.594,36	R\$ 66.170,62	R\$ 38.024,43	R\$ 20.758,41	R\$ 5.271,83
Ratio	R\$ 0,39	R\$ 0,25	R\$ 0,15	R\$ 0,08	R\$ 0,04	R\$ 0,02	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	4900	4749	4615	4494	4383	4280	4185	4011
Estoque de segurança (m³)	2237	2087	1953	1831	1720	1618	1522	1348
Estoque máximo teórico (m³)	5237	5587	5953	6331	6720	7118	7522	8348
Estoque médio teórico (m³)	3737	3837	3953	4081	4220	4368	4522	4848
Capacidade (m³)	7591							
ESC (m³)	120	140	160	180	200	220	240	280
ESCC (m³)	120	140	160	180	200	220	240	280
Tamanho das bateledas (m³)	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	7000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)	4392	Custo unitário do pedido (R\$/m³)	R\$ 68,00
		Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)	R\$ 484,16
		Custo unitário da falta (R\$/m³)	R\$ 43,71
		Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)	R\$ 29,87

Es	Q*	Emédo	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armaz.	CT	%
o	o	o	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
2410	2500	3660	R\$ 248.889,50	R\$ 1.772.094,06	R\$ 159.977,39	R\$ 109.328,37	R\$ 2.290.289,32	77,37
2237	3000	3737	R\$ 254.140,61	R\$ 1.809.481,96	R\$ 163.352,61	R\$ 111.635,00	R\$ 2.338.610,19	77,37
2087	3500	3837	R\$ 260.898,74	R\$ 1.857.599,86	R\$ 167.696,50	R\$ 114.603,61	R\$ 2.400.798,71	77,37
1953	4000	3953	R\$ 268.780,77	R\$ 1.913.719,93	R\$ 172.762,79	R\$ 118.065,90	R\$ 2.473.329,39	77,37
1831	4500	4081	R\$ 277.535,41	R\$ 1.976.053,04	R\$ 178.389,97	R\$ 121.911,51	R\$ 2.553.889,94	77,37
1720	5000	4220	R\$ 286.988,55	R\$ 2.043.359,38	R\$ 184.466,11	R\$ 126.063,94	R\$ 2.640.877,98	77,37
1618	5500	4368	R\$ 297.014,30	R\$ 2.114.742,80	R\$ 190.910,31	R\$ 130.467,90	R\$ 2.733.135,31	77,37
1522	6000	4522	R\$ 307.518,61	R\$ 2.189.533,50	R\$ 197.662,11	R\$ 135.082,07	R\$ 2.829.796,30	77,37
1348	7000	4848	R\$ 329.689,43	R\$ 2.347.389,79	R\$ 211.912,73	R\$ 144.820,93	R\$ 3.033.812,88	77,37

Determinação dos estoques de segurança e dos lotes de ressuprimento do Diesel em Uberlândia								
Variáveis aleatórias	Segundas	Tercas	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	2650	2255	2244	2235	2305		2232	11159
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	471	651	588	579	513		367	1834
Tempo médio de ressuprimento (d)	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	7779,63	6621,06	6586,90	6562,70	6768,42		6552,23	32761,17
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	6684,35	5756,45	5707,82	5684,72	5839,40		5623,74	28118,70
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,18	0,29	0,26	0,26	0,22		0,16	0,16
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85		0,85	0,85
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial
	Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)							
	Q*							
Repositivos do estoque	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000
O - $\mu$	5,324	6,324	7,324	8,324	9,324	10,324	11,324	12,324
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	0,89	1,06	1,23	1,40	1,56	1,73	1,90	2,07
Oest	5932	6767	7640	8545	9475	10425	11390	12366
$\mu$ - O	-5324	-6324	-7324	-8324	-9324	-10324	-11324	-12324
Uest	607,5864443	442,8181171	316,1883091	221,071462	151,2749734	101,2621028	66,28053983	42,40460066
C Oest	R\$ 3.700.630,74	R\$ 4.221.723,43	R\$ 4.766.610,36	R\$ 5.331.157,91	R\$ 5.911.502,58	R\$ 6.504.190,05	R\$ 7.106.255,40	R\$ 7.715.249,44
C Uest	R\$ 379.067,11	R\$ 276.269,80	R\$ 197.266,72	R\$ 137.924,27	R\$ 94.378,94	R\$ 63.176,41	R\$ 41.351,77	R\$ 26.455,81
Ratio	R\$ 0,09	R\$ 0,06	R\$ 0,04	R\$ 0,03	R\$ 0,02	R\$ 0,01	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	12751	12500	12264	12041	11829	11628	11435	11251
Estoque de segurança (m³)	6075	5824	5588	5365	5153	4952	4759	4575
Estoque máximo teórico (m³)	18075	18824	19588	20365	21153	21952	22759	23575
Estoque médio teórico (m³)	12075	12324	12588	12865	13153	13452	13759	14075
Capacidade (m³)	28377							
ESC (m³)	480	520	560	600	640	680	720	760
ESCC (m³)	480	520	560	600	640	680	720	760
Tamanho das bateladas (m³)	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)		6619	Custo unitário do pedido (R\$/m³)		R\$ 68,00			
			Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)		R\$ 533,13			
			Custo unitário da falta (R\$/m³)		R\$ 46,11			
			Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)		R\$ 29,87			
Es	Q*	Emédio	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armaz.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
6344	11000	11844	R\$ 805.358,01	R\$ 6.314.096,85	R\$ 546.127,48	R\$ 353.765,35	R\$ 8.019.347,69	78,74
6075	12000	12075	R\$ 821.104,24	R\$ 6.437.549,02	R\$ 556.805,27	R\$ 360.682,11	R\$ 8.176.140,64	78,74
5824	13000	12324	R\$ 838.034,03	R\$ 6.570.280,50	R\$ 568.285,67	R\$ 368.118,77	R\$ 8.344.718,96	78,74
5588	14000	12588	R\$ 855.981,77	R\$ 6.710.992,77	R\$ 580.456,34	R\$ 376.002,58	R\$ 8.523.433,46	78,74
5365	15000	12865	R\$ 874.814,96	R\$ 6.858.647,10	R\$ 593.227,46	R\$ 384.275,34	R\$ 8.710.964,86	78,74
5153	16000	13153	R\$ 894.425,89	R\$ 7.012.399,01	R\$ 606.525,98	R\$ 392.889,73	R\$ 8.906.240,61	78,74
4952	17000	13452	R\$ 914.725,76	R\$ 7.171.552,20	R\$ 620.291,68	R\$ 401.806,74	R\$ 9.108.376,37	78,74
4759	18000	13759	R\$ 935.640,42	R\$ 7.335.525,51	R\$ 634.474,28	R\$ 410.993,81	R\$ 9.316.634,03	78,74
4575	19000	14075	R\$ 957.107,35	R\$ 7.503.828,64	R\$ 649.031,39	R\$ 420.423,48	R\$ 9.530.390,86	78,74



**APENDICE D – Resultados das simulações em Goiânia**

Determinação dos estoques de segurança e dos lotes de ressuprimento de gasolina em Goiânia								
Variáveis aleatórias	Segundas	Terças	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	2724	2686	2573	2510	2740	873	2141	12844
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	394	464	531	519	538	610	275	1649
Tempo médio de ressuprimento (d)	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	6642,81	6548,81	6273,53	6120,76	6680,34	2129,28	5219,99	31319,94
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	6289,37	6213,12	5969,11	5823,92	6350,34	2220,98	4937,27	29623,64
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,14	0,17	0,21	0,21	0,20	0,70	0,13	0,13
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma
Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)								
Q*								
Reposições ao pedido	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000
O - $\mu$	2.780	3.780	4.780	5.780	6.780	7.780	8.780	9.780
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	0,56	0,77	0,97	1,17	1,37	1,58	1,78	1,98
Oest	3664	4410	5217	6074	6972	7901	8854	9824
$\mu$ - O	-2780	-3780	-4780	-5780	-6780	-7780	-8780	-9780
Uest	883.925311	630.3249674	436.9146587	294.0627019	191.9828444	121.4704007	74.42291136	44.12118965
C Oest	R\$ 2.298.276,31	R\$ 2.766.470,36	R\$ 3.272.419,93	R\$ 3.810.083,19	R\$ 4.373.321,55	R\$ 4.956.361,21	R\$ 5.554.119,74	R\$ 6.162.382,37
C Uest	R\$ 554.459,83	R\$ 395.383,88	R\$ 274.063,46	R\$ 184.456,71	R\$ 120.425,08	R\$ 76.194,74	R\$ 46.883,26	R\$ 27.675,90
Ratio	R\$ 0,19	R\$ 0,13	R\$ 0,08	R\$ 0,05	R\$ 0,03	R\$ 0,02	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	R\$ 0,19	R\$ 0,13	R\$ 0,08	R\$ 0,05	R\$ 0,03	R\$ 0,02	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Estoque de segurança (m³)	5573	5279	5010	4762	4531	4315	4112	3919
Estoque máximo teórico (m³)	13573	13279	13010	12762	12531	12315	12112	11919
Estoque médio teórico (m³)	9573	9779	10010	10262	10531	10815	11112	11419
Capacidade (m³)	28960							
ESC (m³)	320	360	400	440	480	520	560	600
ESCC (m³)	320	360	400	440	480	520	560	600
Tamanho das bateletas (m³)	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000
Nível de serviço PAD	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600	0.9600

Reposição (m³/d)	8342	Custo unitário do pedido (R\$/m³)	R\$ 68,00
		Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)	R\$ 484,16
		Custo unitário da falta (R\$/m³)	R\$ 44,30
		Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)	R\$ 49,81

Es	Q*	Emédo	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armazen.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
5573	8000	9573	R\$ 650.947,78	R\$ 4.634.750,27	R\$ 424.111,62	R\$ 476.819,25	R\$ 6.186.628,91	74,92
5279	9000	9779	R\$ 664.938,72	R\$ 4.734.365,80	R\$ 433.227,13	R\$ 487.067,61	R\$ 6.319.599,26	74,92
5010	10000	10010	R\$ 680.654,54	R\$ 4.846.262,53	R\$ 434.466,45	R\$ 498.579,45	R\$ 6.468.962,97	74,92
4762	11000	10262	R\$ 697.783,98	R\$ 4.968.224,17	R\$ 454.626,78	R\$ 511.126,76	R\$ 6.631.761,70	74,92
4531	12000	10531	R\$ 716.094,49	R\$ 5.098.595,08	R\$ 466.556,62	R\$ 524.539,21	R\$ 6.805.785,41	74,92
4315	13000	10815	R\$ 735.407,58	R\$ 5.236.104,33	R\$ 479.139,67	R\$ 538.686,05	R\$ 6.989.337,63	74,92
4112	14000	11112	R\$ 755.583,10	R\$ 5.379.754,12	R\$ 492.284,61	R\$ 553.464,62	R\$ 7.181.086,46	74,92
3919	15000	11419	R\$ 776.508,93	R\$ 5.528.746,06	R\$ 505.918,40	R\$ 568.792,79	R\$ 7.379.966,18	74,92

Determinação dos estoques de segurança e dos lotes de ressuprimento de Diesel em Quilômetro								
Variáveis aleatórias	Segundas	Terças	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Media	Semanal
Demanda média (m³/d)	6858	6606	5854	5650	6122		5901	28505
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	1258	1278	1548	1439	1558		1021	5103
Tempo médio de ressuprimento (d)	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77		1,77	1,77
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71		1,71	1,71
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	12171,60	11725,41	10389,97	10027,55	10865,43		10473,34	52366,68
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	11831,78	11410,73	10208,37	9837,87	10659,49		10169,48	50847,39
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,18	0,19	0,26	0,25	0,25		0,17	0,17
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96		0,96	0,96
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal		Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial		Exponencial	Exponencial
Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)								
Q*								
Previsões de vendas	24000	25000	26000	27000	28000	29000	30000	31000
O - $\mu$	13.527	14.527	15.527	16.527	17.527	18.527	19.527	20.527
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	1,33	1,43	1,53	1,63	1,72	1,82	1,92	2,02
Oest	13961	14877	15807	16749	17702	18664	19633	20609
$\mu$ - O	-13527	-14527	-15527	-16527	-17527	-18527	-19527	-20527
Uest	434.1218235	350.1336048	280.2996738	222.708708	175.6057397	137.4010475	106.6733408	82.16798589
C Oest	R\$ 8.827.265,19	R\$ 9.406.450,22	R\$ 9.994.584,92	R\$ 10.590.460,73	R\$ 11.192.967,99	R\$ 11.801.101,55	R\$ 12.413.962,73	R\$ 13.030.758,24
C Uest	R\$ 274.490,89	R\$ 221.385,98	R\$ 177.230,68	R\$ 140.816,49	R\$ 111.033,75	R\$ 86.877,31	R\$ 67.448,49	R\$ 51.954,00
Ratio	R\$ 0,03	R\$ 0,02	R\$ 0,02	R\$ 0,01	R\$ 0,01	R\$ 0,01	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	19967	19743	19525	19314	19109	18910	18716	18527
Estoque de segurança (m³)	9494	9269	9052	8841	8636	8436	8242	8053
Estoque máximo teórico (m³)	33494	33269	33052	32841	32636	32436	32242	32053
Estoque médio teórico (m³)	21494	21769	22052	22341	22636	22936	23242	23553
Capacidade (m³)	61046							
ESC (m³)	960	1000	1040	1080	1120	1160	1200	1240
ESCC (m³)	960	1000	1040	1080	1120	1160	1200	1240
Tamanho das bateladas (m³)	24000	25000	26000	27000	28000	29000	30000	31000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)		3840	Custo unitário do pedido (R\$/m³)		R\$ 68,00			
			Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)		R\$ 533,13			
			Custo unitário da falta (R\$/m³)		R\$ 46,45			
			Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)		R\$ 49,81			
Es	Q*	Emédo	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. amaz.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
9494	24000	21494	R\$ 1.461.588,56	R\$ 11.459.017,69	R\$ 998.350,96	R\$ 1.070.613,62	R\$ 14.989.570,83	76,45
9269	25000	21769	R\$ 1.480.318,84	R\$ 11.605.865,21	R\$ 1.011.144,85	R\$ 1.084.333,55	R\$ 15.181.662,45	76,45
9052	26000	22052	R\$ 1.499.524,43	R\$ 11.756.439,22	R\$ 1.024.263,40	R\$ 1.098.401,65	R\$ 15.378.628,70	76,45
8841	27000	22341	R\$ 1.519.171,61	R\$ 11.910.475,27	R\$ 1.037.683,57	R\$ 1.112.793,20	R\$ 15.580.123,66	76,45
8636	28000	22636	R\$ 1.539.230,18	R\$ 12.067.736,69	R\$ 1.051.384,76	R\$ 1.127.486,11	R\$ 15.785.837,73	76,45
8436	29000	22936	R\$ 1.559.673,01	R\$ 12.228.010,80	R\$ 1.065.348,41	R\$ 1.142.460,48	R\$ 15.995.492,71	76,45
8242	30000	23242	R\$ 1.580.475,64	R\$ 12.391.105,71	R\$ 1.079.557,83	R\$ 1.157.698,41	R\$ 16.208.837,58	76,45
8053	31000	23553	R\$ 1.601.615,90	R\$ 12.556.847,69	R\$ 1.093.997,87	R\$ 1.173.183,64	R\$ 16.425.645,10	76,45

**APENDICE E – Resultados das simulações em Brasília**

Determinação dos estoques de segurança e dos lotes de ressuprimento de gasolina em Brasília								
Variáveis aleatórias	Segundas	Terças	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	2651	2399	2234	2193	2328	996	1958	11748
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	585	563	504	507	545	479	291	1748
Tempo médio de ressuprimento (d)	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	6530,54	5908,37	5502,91	5415,34	5733,81	2453,20	4822,74	28936,43
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	6168,81	5589,25	5200,74	5120,64	5423,66	2411,82	4527,96	27167,76
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,48	0,15	0,15
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma	Gamma
Método: De TR variáveis CHOPRA (2004)								
Q*								
Reposições por pedido	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
O - $\mu$	2.177	3.177	4.177	5.177	6.177	7.177	8.177	9.177
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	0,48	0,70	0,92	1,14	1,36	1,59	1,81	2,03
Oest	3100	3822	4614	5462	6357	7286	8241	9213
$\mu$ - O	-2177	-3177	-4177	-5177	-6177	-7177	-8177	-9177
Uest	922,6641421	645,0935847	436,2603067	284,9614409	179,545521	108,9924592	63,67783926	35,77125162
C Oest	R\$ 1.950.689,91	R\$ 2.405.293,09	R\$ 2.903.150,57	R\$ 3.437.212,73	R\$ 4.000.147,66	R\$ 4.585.020,73	R\$ 5.185.775,60	R\$ 5.797.484,82
C Uest	R\$ 580.604,86	R\$ 405.938,04	R\$ 274.525,52	R\$ 179.317,69	R\$ 112.982,61	R\$ 68.585,68	R\$ 40.070,55	R\$ 22.509,78
Ratio	R\$ 0,23	R\$ 0,14	R\$ 0,09	R\$ 0,05	R\$ 0,03	R\$ 0,01	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	10040	9736	9461	9211	8979	8764	8562	8372
Estoque de segurança (m³)	5217	4913	4639	4388	4156	3941	3739	3549
Estoque máximo teórico (m³)	12217	12913	13639	14388	15156	15941	16739	17549
Estoque médio teórico (m³)	8717	8913	9139	9388	9656	9941	10239	10549
Capacidade (m³)	26758							
ESC (m³)	280	320	360	400	440	480	520	560
ESCC (m³)	280	320	360	400	440	480	520	560
Tamanho das bateledas (m³)	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)		8036	Custo unitário do pedido (R\$/m³)			R\$ 68,00		
			Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)			R\$ 484,16		
			Custo unitário da falta (R\$/m³)			R\$ 44,38		
			Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)			R\$ 45,39		
Es	Q*	Emédio	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armaz.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
5217	7000	8717	R\$ 592.741,29	R\$ 4.220.319,90	R\$ 386.885,73	R\$ 395.654,81	R\$ 5.595.601,73	75,42
4913	8000	8913	R\$ 606.088,68	R\$ 4.315.353,37	R\$ 395.597,65	R\$ 404.564,20	R\$ 5.721.603,89	75,42
4639	9000	9139	R\$ 621.433,63	R\$ 4.424.609,46	R\$ 405.613,39	R\$ 414.806,95	R\$ 5.866.463,43	75,42
4388	10000	9388	R\$ 638.377,14	R\$ 4.545.247,30	R\$ 416.672,52	R\$ 426.116,74	R\$ 6.026.413,70	75,42
4156	11000	9656	R\$ 656.630,89	R\$ 4.675.214,08	R\$ 428.586,85	R\$ 438.301,12	R\$ 6.198.732,94	75,42
3941	12000	9941	R\$ 675.979,47	R\$ 4.812.976,01	R\$ 441.215,78	R\$ 451.216,30	R\$ 6.381.387,55	75,42
3739	13000	10239	R\$ 696.257,49	R\$ 4.957.355,54	R\$ 454.451,36	R\$ 464.751,87	R\$ 6.572.816,26	75,42
3549	14000	10549	R\$ 717.335,08	R\$ 5.107.428,07	R\$ 468.208,83	R\$ 478.821,16	R\$ 6.771.793,13	75,42

Determinação dos estoques de segurança e dos lotes de ressuprimento de Diesel em Brasília								
Variáveis aleatórias	Segundas	Tercas	Quartas	Quintas	Sextas	Sabados	Média	Semanal
Demanda média (m³/d)	2650	2255	2244	2235	2305		2232	11159
Desvio-padrão da demanda (m³/d)	471	651	588	579	513		367	1834
Tempo médio de ressuprimento (d)	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
Desvio-padrão do tempo de ressuprimento (d)	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	7779,63	6621,06	6586,90	6562,70	6768,42		6552,23	32761,17
Desvio-padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento (m³)	6684,35	5756,45	5707,82	5684,72	5839,40		5623,74	28118,70
Coefficiente de variação da demanda $\sigma/\mu$	0,18	0,29	0,26	0,26	0,22		0,16	0,16
Coefficiente de variação do tempo de ressuprimento $\sigma/\mu$	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85		0,85	0,85
Distribuição da Demanda	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Distribuição do tempo de ressuprimento	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial
Método: D e TR variáveis CHOPRA (2004)								
Q*								
Reposições de estoque	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000
O - $\mu$	4.448	5.448	6.448	7.448	8.448	9.448	10.448	11.448
(O - $\mu$ ) / $\sigma$	0,79	0,97	1,15	1,32	1,50	1,68	1,86	2,04
Oest	5135	5945	6799	7691	8612	9556	10517	11491
$\mu$ - O	-4448	-5448	-6448	-7448	-8448	-9448	-10448	-11448
Uest	686,9342213	497,1366795	351,7042868	243,0674843	164,0032841	107,9708366	69,31986826	43,38098674
C Oest	R\$ 3.262.024,17	R\$ 3.776.737,69	R\$ 4.319.635,95	R\$ 4.885.910,07	R\$ 5.470.971,38	R\$ 6.070.664,40	R\$ 6.681.399,95	R\$ 7.300.211,24
C Uest	R\$ 436.402,44	R\$ 315.825,96	R\$ 223.434,22	R\$ 154.418,34	R\$ 104.189,65	R\$ 68.592,67	R\$ 44.038,22	R\$ 27.559,51
Ratio	R\$ 0,12	R\$ 0,08	R\$ 0,05	R\$ 0,03	R\$ 0,02	R\$ 0,01	R\$ 0,01	R\$ 0,00
Ponto de ressuprimento (m³)	12360	12104	11865	11640	11427	11225	11032	10849
Estoque de segurança (m³)	5808	5552	5313	5088	4875	4673	4480	4296
Estoque máximo teórico (m³)	16808	17552	18313	19088	19875	20673	21480	22296
Estoque médio teórico (m³)	11308	11552	11813	12088	12375	12673	12980	13296
Capacidade (m³)	28377							
ESC (m³)	440	480	520	560	600	640	680	720
ESCC (m³)	440	480	520	560	600	640	680	720
Tamanho das bateladas (m³)	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000
Nível de serviço PAD	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600	0,9600

Reposição (m³/d)		6074	Custo unitário do pedido (R\$/m³)			R\$ 68,00		
			Custo unitário de oportunidade de capital (R\$/m³)			R\$ 533,13		
			Custo unitário da falta (R\$/m³)			R\$ 46,57		
			Custo unitário de transporte, armazenagem e manuseio (R\$/m³)			R\$ 45,39		
Es	Q*	Emédio	Custo do pedido	Custo de oportunidade	Custo da falta	Custo transp. armaz.	CT	%
0	0	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	
5808	11000	11308	R\$ 768.958,91	R\$ 6.028.723,85	R\$ 526.601,16	R\$ 513.280,07	R\$ 7.837.563,99	76,92
5552	12000	11552	R\$ 785.551,80	R\$ 6.158.813,91	R\$ 537.964,35	R\$ 524.355,82	R\$ 8.006.685,89	76,92
5313	13000	11813	R\$ 803.268,44	R\$ 6.297.714,37	R\$ 550.097,13	R\$ 536.181,68	R\$ 8.187.261,62	76,92
5088	14000	12088	R\$ 821.951,64	R\$ 6.444.192,77	R\$ 562.891,82	R\$ 548.652,72	R\$ 8.377.688,96	76,92
4875	15000	12375	R\$ 841.475,65	R\$ 6.597.263,17	R\$ 576.262,32	R\$ 561.685,00	R\$ 8.576.686,14	76,92
4673	16000	12673	R\$ 861.738,21	R\$ 6.756.123,90	R\$ 590.138,60	R\$ 575.210,25	R\$ 8.783.210,97	76,92
4480	17000	12980	R\$ 882.655,01	R\$ 6.920.113,97	R\$ 604.462,92	R\$ 589.172,22	R\$ 8.996.404,12	76,92
4296	18000	13296	R\$ 904.155,68	R\$ 7.088.681,61	R\$ 619.187,08	R\$ 603.523,92	R\$ 9.215.548,29	76,92

## APENDICE F – Cálculos econômicos

Modelo	Ribeirão Preto			Uberlândia			Goiânia			Brasília			Total		
	Gasolina	Diesel	Geral	Gasolina	Diesel	Geral	Gasolina	Diesel	Geral	Gasolina	Diesel	Geral	Gasolina	Diesel	Geral
Custo do estoque médio R\$	3.649.572,78	9.433.370,28	2.776.844,87	5.207.044,30	3.033.812,08	9.530.390,86	7.379.966,18	16.425.645,10	6.771.793,13	9.215.548,29	23.611.989,85	48.811.998,82	73.423.988,67		
Atual											931.375,09	10.243.788.587,01	3.175.163.686,10		
Custo do estoque médio R\$	6.122.461,92	8.351.854,66	2.614.054,20	5.640.318,62	2.989.638,16	8.877.659,23	9.676.161,22	17.802.704,69	4.796.675,14	10.280.768,77	26.198.990,63	50.953.306,97	77.152.297,60		
Atual - Modelo															
Economia	2.472.889,13	-1.081.515,63	-162.790,67	433.274,32	-44.174,72	-652.731,62	2.296.195,04	1.377.059,59	-1.975.118,00	1.065.221,49	2.587.000,78	1.141.308,15	3.728.308,93		
Modelo															
Estoque Médio Teórico	5670	13126	3853	7709	4522	13759	11419	23553	10549	12936	36.114	71.444	107.557		
Atual															
Estoque Médio	10028	12611	4194	8861	4778	13111	14972	25528	7472	14833	41.444	74.444	115.889		
Atual - Modelo															
Variação	4358	-515	241	652	255	-648	3553	1975	-3077	1537	5.331	3.001	8.332		
Modelo															
Faixa mínima	2170	4626	1203	2209	1522	4759	4702	9667	3549	4296	13.147	25.558	38.704		
Estoque Médio Teórico	5670	13126	3853	7709	4522	13759	11419	23553	10549	12936	36.114	71.444	107.557		
Faixa Máxima	9170	21626	6703	13209	7322	22759	11919	32053	17549	22296	52.864	111.944	164.807		
Lote	7000	17000	5500	11000	6000	18000	15000	31000	14000	18000	47.500	95.000	142.500		